

**TUGAS AKHIR - TM 141585**

# **ANALISIS PENYEBAB DAN PENCEGAHAN GRID CORROSION LEAD-ACID BATTERY PADA PLAT POSITIVE**

**IMADUDDIN AZIS  
NRP 2112 100 144**

**Dosen Pembimbing  
Ir. Witantyo, M.Eng.Sc**

**DEPARTEMEN TEKNIK MESIN  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2017**

**TUGAS AKHIR - TM 141585**

**ANALISIS PENYEBAB DAN PENCEGAHAN GRID  
CORROSION LEAD-ACID BATTERY PADA PLAT  
POSITIVE (Studi Kasus: PT.Indobatt Industri  
Permai)**

IMADUDDIN AZIS  
NRP 2112 100 144

Dosen Pembimbing  
Ir. Witantyo, M.Eng.Sc

JURUSAN TEKNIK MESIN  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2017

FINAL PROJECT - TM 141585

# **FAILURE ANALYSIS OF GRID CORROSION LEAD-ACID BATTERY IN POSITIVE PLATE (at PT. INDOBATT INDUSTRI PERMAI)**

IMADUDDIN AZIS  
NRP 2112 100 144

Advisor  
Ir. Witantyo, M.Eng.Sc

MECHANICAL ENGINEERING DEPARTMENT  
Faculty of Industrial Technology  
Sepuluh Nopember Institute of Technology  
Surabaya 2017

**ANALIS PENYEBAB DAN PENCEGAHAN GRID  
CORROSION LEAD-ACID BATTERY PADA PLAT  
POSITIF**

**(Studi Kasus: PT.Indobatt Industri Permai)**

**TUGAS AKHIR**

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
pada

Program Studi S-1 Departemen Teknik Mesin  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

**IMADUDDIN AZIS**

**NRP. 2112 100 144**

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Ir. Witantyo, M.Eng.Sc  
NIP. 196303141988031002
2. Suwarno, ST.,MSc.,PhD.  
NIP. 198005202005011003
3. Dinny Harnany, ST, MSc  
NIP.2100201405001
4. Wahyu Wijanarko, ST, MSc  
NIP. 198202092012121001



(Pembimbing)

(Penguji I)

(Penguji II)

(Penguji III)

**SURABAYA  
JULI, 2017**

**ANALIS PENYEBAB DAN PENCEGAHAN *GRID*  
CORROSION LEAD-ACID BATTERY PADA PLAT POSITIF**  
(Studi Kasus : PT. Indobatt Industri Permai)

<b>Nama Mahasiswa</b>	<b>: Imaduddin Azis</b>
<b>NRP</b>	<b>: 2112100144</b>
<b>Jurusan</b>	<b>: Teknik Mesin FTI-ITS</b>
<b>Dosen Pembimbing</b>	<b>: Ir. Witantyo, M.Eng.Sc</b>

**Abstrak**

Baterai *lead-acid* merupakan jenis baterai yang paling banyak digunakan namun masih saja sering terjadi kerusakan yang menyebabkan berkurangnya life time dari baterai tersebut. Salah satu kegagalan yang sering terjadi adalah *grid corrosion*. Pada penelitian kali ini difokuskan terhadap struktur mikro pada plat positif aki, dengan tujuan dapat mengetahui penyebab terjadinya *grid corrosion* dan dapat memberikan solusi dalam mencegah atau memperlambat *grid corrosion*. Penelitian kali ini dilakukan dengan melakukan pengujian metalografi, SEM, korosi pada aki yang diproduksi PT.Indobatt.

Penelitian ini diawali dengan studi lapangan dan identifikasi permasalahan yang ada dengan melihat contoh-contoh bentuk kegagalan yang diakibatkan grid corrosion pada aki. Dilanjutkan dengan mengumpulkan data historis dan juga data endurance test dari aki yang akan diteliti. Data-data tersebut dapat berupa dugaan awal penyebab terjadinya grid corrosion. Investigasi kerusakan menggunakan pengujian metalografi, SEM, dan korosi. Pengujian metalografi dilakukan untuk mengetahui struktur mikro dari grid, sementara pengujian SEM dilakukan untuk mengetahui morfologi dari grid. Kemudian dilakukan pengujian korosi dengan membandingkan dengan grid yang sudah mengalami proses perbaikan casting. Setelah melakukan pengujian dilakukan analisa data dan pembahasan dari hasil pengujian yang telah dilakukan, yang kemudian dapat diambil kesimpulan dan saran dari hasil penelitian.

Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa grid corrosion terjadi karena terdapat impurities yang merupakan inklusi dari oksida lead-antimony. Inklusi ini disebabkan oleh gradien temperatur yang terlalu tinggi anatar ladle dan mold. Gradien yang tinggi ini menyebabkan tingkat penyusutan yang tinggi sehingga grid mengalami tarikan ke segala arah. Dross yang masuk pada proses percetakan juga menyebabkan inklusi pada grid. Untuk mengatasi hal tersebut, didapatkan beberapa solusi, antara lain memperbaiki proses casting. Kemudian menambahkan unsur silver, menambahkan unsur selenium, atau menambahkan unsur tin pada paduan lead-antimony

**Kata kunci:** *Lead-acid Battery, Casting, Grid Corrosion, Impurities*

**FAILURE ANALYSIS OF GRID CORROSION LEAD-ACID  
BATTERY IN POSITIVE PLATE  
(AT PT. INDOBATT INDUSTRI PERMAI)**

**Name** : Imaduddin Azis  
**NRP** : 2112100144  
**Departement** : Teknik Mesin FTI-ITS  
**Advisor** : Ir. Witantyo, M.Eng.Sc

**Abstract**

*Lead acid battery is the most widely used battery product however failure in this battery still exist and make life time reduced. One of the most frequently occur in lead-acid battery is positive plate degradation. positive plate degradation is caused by active material or corrosion in grid. In this Thesis, Focused on grid corrosion to know the cause so that it can provide a solution to prevention or hold up grid corrosion. This research is done testing metalografi, SEM, and corrosion.*

*This research begins with survey and identification of exiting of exiting problems by looking at examples of this failure caused by corrosion on gird. Proceed with collecting historical data and also data endurance test of battery that will be examined. This data can be the initial cause of alleged occurrence of grid corrosion. Investigation of the failure using metallographic testing, SEM, and corrosion. Metallography test to find out microstructure of grid. SEM test is to find out morphology of grid. Corrosion testing done by comparing grid before and after the process of repair of casting. After that, the testing conducted data analysis and discussion of the results of the testing that has been done, which can then be taken up the conclusions and suggestions of the research results.*

*The results of this research show that grid corrosion occurs because of impurities which are the inclusion of lead-antimony oxide. This inclusion caused by temperature gradient too high*

*between ladle and mold. A high gradient led to high rate of depreciation so that the grid suffered the pull in any direction. Dross which entered on the printing process also leads to inclusion on the grid. To resolve this, it brings some solution, among other things, improve the process of casting. Then add the element silver, selenium, or tin in lead-antimony*

**Key Word : Lead-acid Battery, Casting, Grid Corrosion ,Impurities**



## KATA PENGANTAR

Segala puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT yang senantiasa memberikan rahmat dan hidayahNya sehingga penulis mampu menyelesaikan tugas akhir dengan judul: “Analisis Penyebab dan Pencegahan *Grid Corrosion Lead-acid Battery* pada Plat Positif”. Pada kesempatan kali ini penulis bermaksud untuk mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Kedua orangtua tercinta, Bapak **Yunus** dan Ibu **Ketut Ariani**, untuk segala doa, pengorbanan, motivasi, kasih dan sayang yang tiada henti terus diberikan kepada penulis.
2. **Ir. Witantyo, M.Eng.Sc** selaku dosen pembimbing pada tugas akhir. Terima kasih atas segala bimbingan, waktu, kritik dan saran yang selalu bapak berikan kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan tugas akhir ini.
3. **Wahyu Wijanarko, ST, MSc, Suwarno, ST., MSc., PhD, ST, MT, Dinny Harnany, ST, MSc**, selaku dosen penguji tugas akhir. Terima kasih atas waktu dan saran yang telah diberikan.
4. **Ir. Bambang Pramujati, MSc.Eng, PhD**, selaku Kepala Departemen Teknik Mesin FTI-ITS sekaligus sebagai dosen wali penulis yang terus memotivasi dari awal perkuliahan sampai penulis menyelesaikan studi S-1.
5. Seluruh Dosen dan Karyawan Departemen Teknik Mesin FTI-ITS yang membimbing serta membantu penulis dari awal perkuliahan hingga menyelesaikan tugas akhir ini.
6. Angkatan M55, Budals, seluruh punggawa bengkel, dan SMRM yang selalu membantu, memberikan ilmu, pengalaman serta canda tawa selama bereada di kampus merah.

7. Keluarga kolak, kambing tapanuli, dan teman-teman laboratorium rekayasa sistem industri yang selalu menghibur ketika sedang lelah, atau sedih saat proses perkuliahan
8. Serta semua pihak yang telah memberikan bantuan dan dukungannya yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu disini.

Penulis menyadari bahwa pada tugas akhir ini masih banyak kekurangan sehingga kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan demi pebaikan dan penyempurnaan tugas akhir ini. Semoga tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi penulis pada khususnya dan pembaca pada umumnya.

Surabaya, Juli 2017

Penulis

## DAFTAR ISI

JUDUL	
LEMBAR PENGESAHAN	
ABSTRAK .....	i
ABSTRACT .....	iii
KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR ISI .....	vii
DAFTAR GAMBAR .....	xi
DAFTAR TABEL .....	xv
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1    Latar Belakang .....	1
1.2    Rumusan Masalah .....	5
1.3    Tujuan Penelitian.....	5
1.4    Batasan Masalah.....	5
1.5    Manfaat Penulisan .....	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....	7
2.1 Baterai .....	7
2.1.1 Teori Baterai.....	7
2.1.2 Kontruksi Baterai .....	10
2.1.3 Reaksi Kimia Baterai.....	14
2.2 Proses Casting .....	20
2.3    Grid Corrosion.....	24
2.4 Investigasi Kerusakan (Failure Investigation).....	25
2.4.1 Process Analysis, Mapping, dan Flowcharts .....	26

2.4.2 Why Analysis .....	26
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN .....</b>	<b>29</b>
3.1 Diagram Alir Penelitian .....	29
3.2 Metodologi Penelitian .....	30
3.2.1. Identifikasi Permasalahan.....	30
3.2.2. Studi Literatur.....	31
3.2.3 Investigasi dengan Metode Root Cause Failure Analysis .....	31
3.2.3.1 Findings .....	32
3.2.3.2 Diagnose .....	32
3.2.4 Analysis .....	32
3.2.4.1 Pengujian SEM.....	32
3.2.4.2 Pengujian Metalografi .....	33
3.2.4.3 Pengujian Autolab .....	34
3.2.4.4 Bahan dan Peralatan Uji .....	35
3.2.5 Analisa dan Diskusi .....	37
3.2.6 Conclusion and Recommendation .....	37
<b>BAB IV PENGOLAHAN DAN ANALISA DATA .....</b>	<b>39</b>
4.1 History Plat positif di PT. Indobatt.....	39
Data-data yang didapatkan, sehingga menjadi dasar acuan atau referensi dalam mengidentifikasi penyebab terjadinya degradasi massa aktif positif, adalah sebagai berikut :.....	39
4.1.1 Foto-foto Rusaknya Plat Positif.....	39
4.1.2 Data Komplain Konsumen .....	41

4.1.3 Data Endurance Test .....	43
4.2. Posibilitas Penyebab Kegagalan.....	46
4.3. Pengamatan Struktur Mikro .....	48
4.4 Pengujian SEM.....	51
4.5 Pengujian Korosi .....	53
BAB V SOLUSI HASIL PENELITIAN .....	61
5.1 Perbaikan Proses casting .....	61
5.2 Penambahan Silver .....	63
5.2 Penambahan Selenium .....	63
5.3 Penambahan Tin .....	65
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN.....	69
6.1 Kesimpulan.....	69
6.2 Saran.....	70
DAFTAR PUSTAKA.....	71
BIODATA PENULIS.....	73

*(halaman ini dikosongkan)*

## **DAFTAR GAMBAR**

Gambar 1. 1 Prediksi Nilai Penjualan Baterai Lead-Acid [1] .....	2
Gambar 1. 2 Data Kerusakan Aki Yang Diterima Di Tahun 2016 [2] .....	3
Gambar 1. 3 Positive Plate Degradation Pada Aki NGS .....	4
gambar 1. 4 Positive Plate Degradation Pada Aki Volcano .....	4
 Gambar 2. 1 Reaksi Elektrokimia Pada Saat Discharge [3] .....	8
Gambar 2. 2 Reaksi Elektrokimia Pada Saat Charge [3].....	9
Gambar 2. 3 Konstruksi Baterai [11] .....	10
Gambar 2. 4 Separator atau Penyekat [11] .....	11
Gambar 2. 5 Sel Baterai [3].....	12
Gambar 2. 6 Tutup Ventilasi [3] .....	13
Gambar 2. 7 Diagram Kondisi Saat Pemakaian Aki [8] .....	15
Gambar 2. 8 Diagram Perpindahan Ion dan Elektron Pada Pemakaian Aki[7].....	16
Gambar 2. 9 Skema Dari Struktur Dasar Material Aktif Positif [7] .....	17
Gambar 2. 10 Tampak Atas Dari Material Aktif Negatif (a) Tingkat Pemakaian Rendah (b) Tingkat Pemakaian Tinggi [7] ..	18
Gambar 2. 11 Diagram Cell Aki Dalam Kondisi Pemakaian [8]19	
Gambar 2. 12 Proses Casting di PT.Indobatt Industri Permai.....	21
Gambar 2. 13 Expanded Wrought Grid[3] .....	22
Gambar 2. 14 Plante Grid [3] .....	22
Gambar 2. 15 Conventional flat grid [3] .....	23
Gambar 2. 16 Radial Design Grid [3] .....	24
 Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian.....	29
Gambar 3. 2 Alat Uji SEM.....	33
Gambar 3. 3 Plat Positif Aki NS60 .....	36

Gambar 4. 1 Kerusakan Grid Positif Tipe (a) NS60S NEO (b) NS40Z NGS.....	40
Gambar 4. 2 Form Komplain Kerusakan Aki 26 Desember 2016 .....	41
Gambar 4. 3 Aki NS60 NEO .....	42
Gambar 4. 4 Plat Positif Aki NS60 NEO .....	43
Gambar 4. 5 Keadaan cell satu Setelah Uji Endurance Unit Enam (a) Plat Positif dan Plat Negatif (b) Rontoknya Plat Positif .....	45
Gambar 4. 6 Keadaan cell Empat Setelah Uji Endurance Unit Enam (a) Plat Positif dan Plat Negatif (b) Rontoknya Plat Positif .....	46
Gambar 4. 7 Hasil pengamatan mikroskop pada bagian wire yang mengalami patah (a), dan pada bagian sambungan wire yang mengalami patah (b), dengan perbesaran 100x. ....	49
Gambar 4. 8 Hasil pengamatan mikroskop pada frame utama dengan perbesaran 50x .....	50
Gambar 4. 9 Hasil pengamatan mikroskop pada frame utama untuk perbesaran 100x.....	51
Gambar 4. 10 Hasil Uji SEM Plat Positif Aki PT.Indobatt .....	52
 Gambar 5. 1 Grafik corrosion rate berbanding dengan %Ag[4].	63
Gambar 5. 2 Grafik $E_{\text{corrosion}}$ berbanding dengan persentase selenium pada paduan lead antimony[12] .....	64
Gambar 5. 3 Grafik weight losses dan efisiensi hambatan berbanding dengan persentase selenium[12] .....	65
Gambar 5. 4 Grafik Laju Korosi dan Konten dari Ca dengan dua perbedaan Sn konsentrasi( 0,5 dan 1,5%)[4] .....	66
Gambar 5. 5 Grafik Hubungan antara Weight Loss dengan persentase Tin[4] .....	67



Gambar 5. 6 Grafik Hubungan Antara Evolusi dengan Persentase Tin[4] .....	67
--	----

*(halaman ini dikosongkan)*

## **DAFTAR TABEL**

Tabel 4. 1 Hasil Pengujian Endurance .....	44
--	----

*(halaman ini dikosongkan)*

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

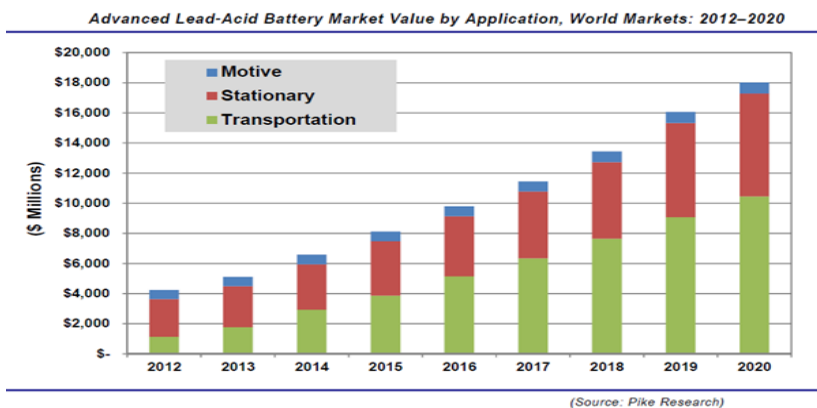
### **1.1 Latar Belakang**

Dewasa ini kebutuhan akan motor di Indonesia terus meningkat. Hal tersebut menuntut industri khususnya dibidang otomotif untuk lebih meningkatkan produksi segala komponen yang menjadi bagian dari motor tersebut. Hal ini membuat perusahaan manufaktur terus menerus meningkatkan hasil produksinya dan juga kualitas dari hasil produknya. Hal tersebut dilakukan agar konsumen tetap percaya terhadap produk yang dibuat oleh perusahaan tersebut. Hal ini menuntut perusahaan manufaktur harus mampu memberikan jaminan kepada konsumen untuk meyakinkan bahwa produk yang dihasilkannya adalah produk yang benar-benar berkualitas dengan harga bersaing dengan produk lain yang sejenis.

PT. Indobatt adalah perusahaan yang bergerak dalam bidang produksi Baterai. Untuk memenuhi permintaan dan kepuasan konsumen, perusahaan ini selalu berusaha meningkatkan kualitas dari baterai itu sendiri. Sistem produksi dalam PT. Indobatt sendiri terdiri dari beberapa area. Yang pertama adalah area casting. Pada area ini merupakan area untuk pembuatan plat. Di area ini, menentukan kualitas dari plat untuk dilanjutkan ke tahap selanjutnya. Setelah itu terdapat area pasting. Pada area ini terjadi proses penempelan pasta pada plat. Pada tahap ini ada pengecekan berat plat. Lalu ada pengecekan ketebalan plat. Dalam tahap ini dilihat perbedaan tebal dan berat plat yang sudah melalui tahapan pasting. Selanjutnya terdapat area formation untuk men *charge* plat berpasta menggunakan asam sulfat selama satu hari. Proses selanjutnya terdapat washing untuk pencucian plat dan inert gas untuk pengeringan plat. Setelah melalui inert gas, plat akan diproses di area cutting untuk selanjutnya diproses di area stacking dimana area ini merupakan penyusunan rangkaian plat positif dan negatif ke dalam casing. Akhir dari seluruh proses ini adalah

assembling semua komponen sekaligus pengecekan produk aki apakah sudah sesuai spesifikasi yang diminta. Dalam tahap ini terdapat beberapa tahapan pengecekan. Terdapat pengecekan *short circuit*, *polarity*. Dalam tahap ini juga terdapat proses pengelasan. Setelah proses pengelasan terpadat pengecekan *internal resistance* dan juga *leak test*. Berdasarkan data yang diambil pada bulan Desember 2015, PT. Indobatt telah memproduksi aki sebanyak 601.960 buah.

Baterai atau aki merupakan salah satu komponen pendukung dari motor yang dapat menyimpan energi listrik dalam bentuk energi kimia. Baterai lead-acid merupakan jenis baterai sekunder yang paling banyak digunakan. Pada tahun 2008 pangsa pasar baterai lead-acid mencapai 70% dan pada tahun 2013 pangsa pasar baterai lead-acid naik sekitar 142% dibanding tahun 2008. Dari hasil penelitian yang dilansir Pike research pangsa pasar baterai

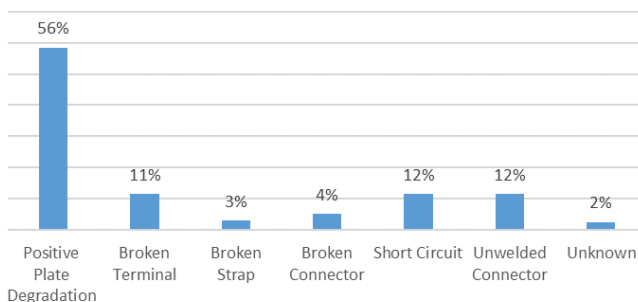


Gambar 1. 1 Prediksi Nilai Penjualan Baterai *Lead-Acid* [1]

Gambar 1.1 Prediksi Nilai Penjualan Baterai *Lead-Acid* dari tahun 2012 sampai 2020 *lead-acid* akan terus naik seperti terlihat pada gambar 1.1 Ini menunjukkan bahwa potensi pasar akan semakin naik sehingga perkembangan teknologi pada *lead-acid*

baterai sangat diperlukan. Baterai lead-acid merupakan jenis baterai yang umum digunakan untuk motor. Baterai ini sering digunakan karena harganya relatif lebih murah. Selain karena harganya lebih murah, baterai *lead-acid* juga cocok untuk sumber kelistrikan untuk kendaraan bermotor karena dapat menghasilkan arus yang tinggi. Walaupun sering digunakan, tetapi baterai *lead-acid* ini sering terjadi kegagalan yang berakibat berkurangnya *life time* dari baterai *lead-acid* tersebut.

Salah satu baterai yang diproduksi oleh PT. Indobatt adalah baterai *lead-acid*. Di PT. Indobatt Industri Permai. Ada beberapa penyebab terjadinya kegagalan pada baterai. Gambar 1.2 menunjukkan data penyebab kerusakan aki yang diterima PT. Indobatt Industri Permai pada tahun 2016.



Gambar 1. 2 Data Kerusakan Aki Yang Diterima Di Tahun 2016 [2]

Data tersebut merupakan data kerusakan aki yang diproduksi dari tahun 2013 sampai Juni 2016. Dari data tersebut terdapat penyebab beberapa kerusakan yaitu: *Positive Plate Degradation*, *Broken Terminal*, *Broken Strap*, *Broken Connector*, *Short Circuit*, *Unwelded Connector*. Dapat dilihat dari total data kerusakan tersebut yang paling banyak adalah *Positive Plate Degradation* dengan total 56%. Kalau dibandingkan dengan

penyebab kegagalan yang lain, jumlahnya sangat jauh dibandingkan dengan positive plate degradation.



Gambar 1. 3 Positive Plate Degradation Pada Aki NGS



gambar 1. 4 Positive Plate Degradation Pada Aki Volcano



Dari kedua gambar tersebut dapat dilihat *active mass* pada plat positif mengalami terdegradasi. *Positive plate degradation* dapat disebabkan oleh massa aktifnya atau korosi pada gridnya. Penelitian kali ini difokuskan pada *grid corrosion*. Pada penelitian yang dilakukan di PT. Indobatt, Mojokerto By Pass Krian km 33 bertujuan untuk mencari penyebab dari *grid corrosion*. Setelah itu mencari solusi untuk mengurangi atau mencegah kegagalan tersebut sehingga *life time* nya menjadi lebih panjang yang nantinya akan menjadi usulan untuk PT. Indobatt Industri Permai.

## 1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

- Bagaimana penyebab dari *grid corrosion* pada aki?
- Bagaimana metode yang tepat agar *grid corrosion* dapat dicegah?

## 1.3 Tujuan Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan tujuan-tujuan sebagai berikut:

- Mengetahui penyebab *grid corrosion* sehingga diperoleh akar permasalahannya
- Memberikan solusi kepada PT. Indobatt guna meminimalisi atau mencegah kegagalan *grid corrosion* pada baterai *lead-acid* sehingga *life time* menjadi lebih panjang

## 1.4 Batasan Masalah

Dengan melihat banyaknya penyebab kegagalan yang ada, maka diberlakukan pembatasan masalah agar penelitian ini dapat berjalan secara fokus dan terarah serta mendapat mencapai tujuan. Batasan masalah tersebut yaitu:

- Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data kerusakan aki yang disebabkan *grid corrosion* pada aki mobil yang terdapat pada yang

PT.Indobatt Industri Permai pada tahun 2014  
sampai september 2016

### **1.5 Manfaat Penulisan**

Manfaat yang didapatkan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

- Dapat mengetahui penyebab grid corrosion pada baterai *lead-acid*
- Dapat memberikan solusi kepada PT. Indobatt guna meminimalisi atau mencegah kegagalan pada baterai *lead-acid* sehingga *life time* menjadi lebih panjang

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

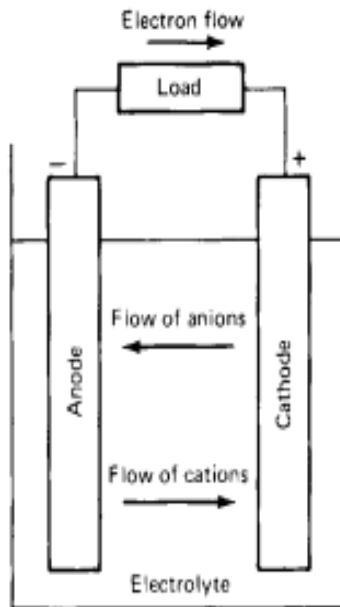
Pada bab ini akan dibahas mengenai dasar teori dan tinjauan pustaka yang digunakan sebagai acuan dan langkah-langkah dalam melakukan penelitian sehingga permasalahan yang dibahas dapat terselesaikan dengan baik. Adapun dasar teori dan tinjauan pustaka yang digunakan adalah berdasarkan permasalahan pada proses produksi aki PT Indobatt Industri Permai, yaitu menganalisa kegagalan yang terjadi pada aki.

#### **2.1 Baterai**

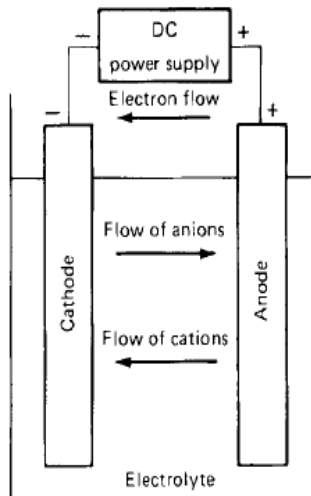
##### **2.1.1 Teori Baterai**

Baterai adalah sebuah alat yang dapat merubah energi kimia menjadi energi listrik melalui reaksi elektrokimia oksidasi dan reduksi. Reaksi terjadi dengan perpindahan elektron dari kutub negatif ke kutub positif. Secara umum baterai terdiri dari satu atau lebih sel yang terhubung secara seri, parallel, atau gabungan seri maupun parallel tergantung output dari tegangan dan kapasitas [2]. Baterai memiliki beberapa komponen utama pada suatu sel yaitu:

1. Elektroda positif (katoda) disebut juga elektroda yang mengalami oksidasi. Pada elektroda ini terjadi reaksi oksidasi melalui reaksi kimia dimana elektroda menerima elektron dari eksternal circuit dan elektroda ini akan tereduksi selama terjadinya proses reaksi kimia.
2. Elektroda negatif (anoda) disebut juga elektroda yang mengalami reduksi. Pada elektroda ini terjadi pelepasan elektron ke eksternal circuit dan elektroda ini teroksidasi selama terjadinya reaksi kimia.
3. Elektrolit berperan sebagai konduktor ion antara anoda dan katoda selama proses pengisian (*charge*) dan pengosongan (*discharge*)



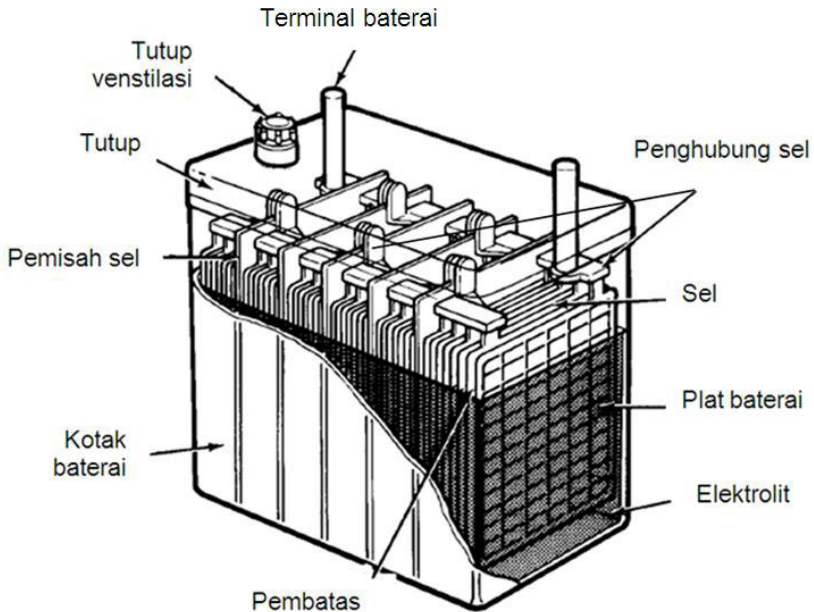
Gambar 2. 1 Reaksi Elektrokimia Pada Saat *Discharge* [3]



Gambar 2. 2 Reaksi Elektrokimia Pada Saat Charge [3]

Gambar 2.1 dan Gambar 2.2 menjelaskan reaksi elektrokimia pada saat discharge dan charge pada aki. Ketika siklus *discharge*, baterai tersambung dengan beban eksternal. Elektron mengalir dari anoda yang teroksidasi melalui beban eksternal menuju katoda dimana tempat menerima elektron. Saat siklus charge alirannya menjadi terbalik. Oksidasi berlangsung di elektroda positif. Sebagai anoda, menurut definisi, elektroda di mana oksidasi terjadi. elektroda positif sekarang anoda dan negatif katoda.

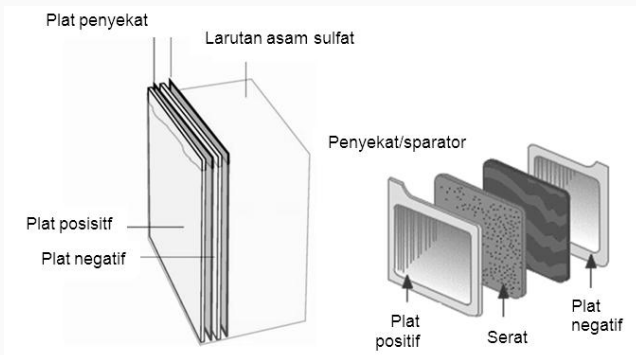
### 2.1.2 Kontruksi Baterai



Gambar 2. 3 Konstruksi Baterai [11]

1. *Kotak baterai* berfungsi sebagai penampung dan pelindung bagi semua komponen baterai yang ada di dalamnya seperti sel, penghubung sel, pemisah sel, plat baterai dan lain-lain. Selain itu juga kotak baterai berfungsi sebagai ruang endapan-endapan baterai pada bagian bawah. Bahan kotak baterai ini biasanya transparan untuk mempermudah pemeriksaan jumlah atau tinggi elektrolit baterai.
2. *Tutup baterai*, sesuai dengan namanya bagian ini berfungsi sebagai tutup bagian atas baterai, tempat kedudukan terminal-terminal baterai, lubang ventilasi.

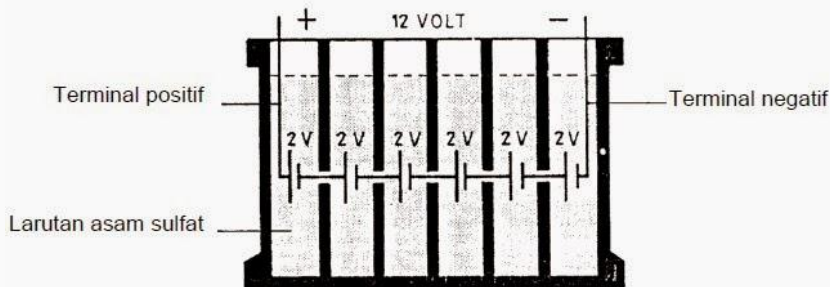
3. *Plat baterai.* Terdapat dua buah plat, plat positif dan plat negatif. Kedua plat tersebut mempunyai grid yang terbuat dari antimoni dan paduan timah. Bahan pembuat Plat positif adalah bahan antimoni yang dilapisi dengan lapisan aktif oksida timah (lead dioxide,  $PbO_2$ ) yang berwarna coklat dan plat negatif terbuat dari sponge lead ( $Pb$ ) yang berwarna abu-abu. Salah satu yang mempengaruhi kemampuan baterai dalam mengalirkan arus adalah jumlah dan ukuran plat. Semakin besar atau banyak platnya maka semakin besar pula arus yang dihasilkan.
4. *Separator atau penyekat,* separator ini ditempatkan di antara plat positif dan plat negatif. Penyekat atau separator ini berpori-pori supaya memungkinkan larutan elektrolit melewatinya. Bagian ini juga berfungsi untuk mencegah hubungan singkat antar plat.



Gambar 2. 4 Separator atau Penyekat [11]

5. *Sel.* Satu unit plat positif dan plat negatif yang dibatasi oleh penyekat di antara kedua plat positif dan negatif disebut dengan sel atau elemen. Sel-sel baterai dihubungkan secara seri satu dengan lainnya, sehingga jumlah sel baterai akan menentukan

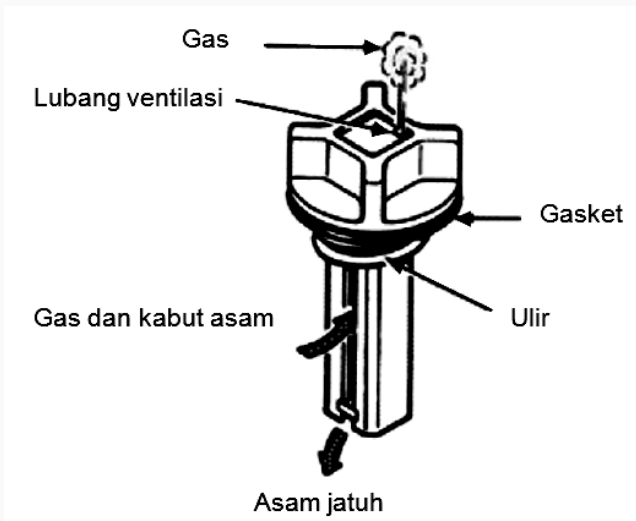
besarnya tegangan baterai yang dihasilkan. Satu buah sel di dalam baterai menghasilkan tegangan kira-kira sebesar 2,1 volt, sehingga untuk baterai yang jumlah selnya 6 menghasilkan total teganya sekitar 12,6 Volt.



Gambar 2. 5 Sel Baterai [3]

6. Penghubung sel (*cell connector*) merupakan plat logam yang dihubungkan dengan plat-plat baterai. Ada dua buah plat penghubung pada setiap sel yaitu untuk plat positif dan plat negatif. Penghubung sel pada plat positif dan negatif disambungkan secara seri untuk semua sel.
7. Pemisah sel (*cell partition*). Bagian ini merupakan bagian dari kotak baterai yang memisahkan tiap sel.
8. *Terminal* baterai. Secara umum ada dua buah terminal pada baterai, yaitu terminal positif dan terminal negatif. Terminal ini terletak pada bagian atas dari aki.
9. Tutup *ventilasi*. Komponen ini terdapat pada baterai jenis basah yang berfungsi sebagai tutup lubang yang digunakan untuk menambah atau memeriksa air baterai. Pada tutup ini terdapat lubang ventilasi berfungsi untuk membuang gas hidrogen yang dihasilkan saat terjadi proses pengisian.





Gambar 2. 6 Tutup Ventilasi [3]

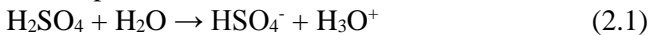
10. Larutan elektrolit, yaitu cairan pada baterai merupakan campuran antara asam sulfat ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) dan air ( $\text{H}_2\text{O}$ ). Secara kimia, campuran tersebut bereaksi dengan bahan aktif pada plat baterai untuk menghasilkan listrik. Baterai yang terisi penuh mempunyai kadar 36% asam sulfat dan 64% air. Larutan elektrolit mempunyai berat jenis (specific gravity) 1,270 pada 200C (680F) saat baterai terisi penuh. Berat jenis merupakan perbandingan antara massa cairan pada volume tertentu dengan massa air pada volume yang sama. Makin tinggi berat jenis, makin kental zat cair tersebut. Berat jenis air adalah 1 dan berat jenis asam sulfat adalah 1,835. Dengan campuran 36% asam dan 64% air, maka berat jenis larutan elektrolit pada baterai sekitar 1,270.

### 2.1.3 Reaksi Kimia Baterai

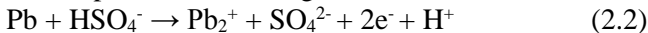
Reaksi kimia pada baterai teradapat dua keadaan. Reaksi yang pertama adalah reaksi *discharge* atau pada saat pemakaian. Kemudian reaksi yang kedua adalah ketika di *charge*. Reaksi ini menyebabkan baterai dapat menghasilkan energi listrik untuk bebab yang sudah disambungkan, atau menerima energi listrik saat proses *charging*.

Reaksi kimia yang terjadi saat *discharge* adalah sebagai berikut :

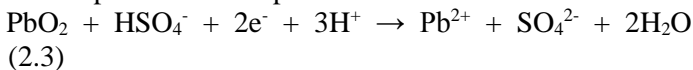
Reaksi pada elektrolit :



Reaksi pada elektroda negatif :



Reaksi pada elektroda positif :

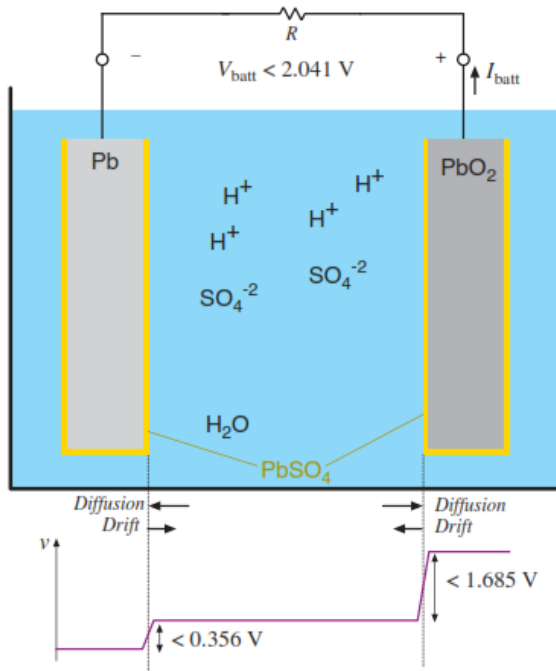


Reaksi keseluruhan :



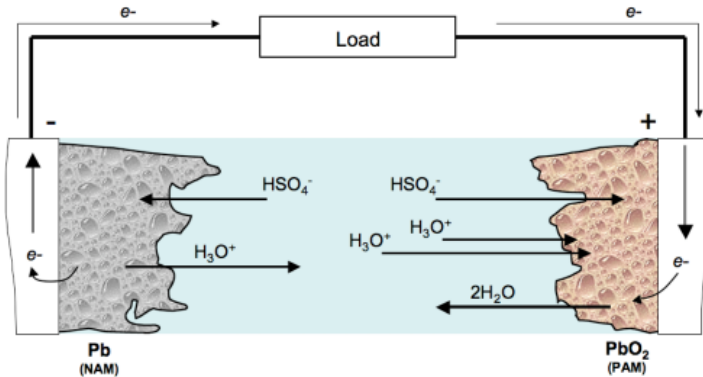
Reaksi pada persamaan 2.1 menunjukan reaksi yang terjadi pada elektrolit cairan asam sulfat dan air selama aki dipakai. Air mampu memecah ion  $\text{H}^+$  pada elektrolit, yang kemudian berubah menjadi  $\text{H}_3\text{O}^+$  atau hidronium. Hidronium ini akan berfungsi sebagai pembawa ion  $\text{H}^+$ , dimana terbentuk pada reaksi saat pengisian maupun pemakaian aki. Reaksi ini juga muncul pada reaksi yang terjadi di elektroda negatif (persamaan 2.2). Timbal murni bereaksi dengan ion asam sulfat yang kemudian membentuk timbal sulfat ( $\text{PbSO}_4$ ). Material aktif negatif melepaskan elektron, dan bergerak melalui elektroda negatif, sambungan eksternal, lalu tiba di elektroda positif dimana elektron ini akan bereaksi dengan material aktif positif dan elektrolit. Pada persamaan 2.3, material

aktif positif kombinasi dengan ion sulfat membentuk  $\text{HSO}_4^-$ , dan ion hidrogen yang berasal dari  $\text{H}_3\text{O}^+$  dan elektron yang kemudian membentuk  $\text{PbSO}_4$  dan air. Seluruh proses ini berawal dari reaksi oksidasi dan reduksi pada elektroda, dimana reaksi tersebut memicu perpindahan elektron, yang kemudian akan menghasilkan pengendapan timbal sulfat ( $\text{PbSO}_4$ ).



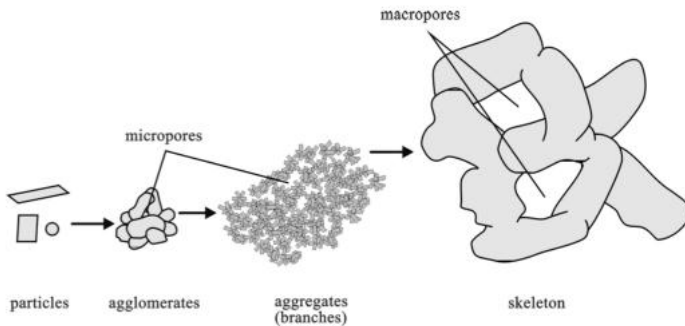
Gambar 2. 7 Diagram Kondisi Saat Pemakaian Aki [8]

Secara keseluruhan, reaksi pemakaian aki membentuk  $\text{PbSO}_4$  yang memiliki sifat tidak dapat menghantarkan listrik.  $\text{PbSO}_4$  ini terbentuk pada kedua elektroda, membuat cairan elektrolit lebih encer daripada sebelumnya (terutama disekitar elektroda positif).



Gambar 2. 8 Diagram Perpindahan Ion dan Elektron Pada Pemakaian Aki[7]

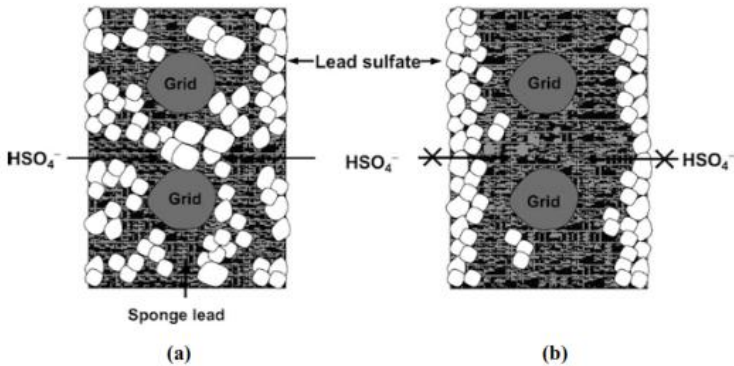
Reaksi dan pereaksi harus ada pada masing-masing permukaan material aktif agar arus listrik dapat mengalir, hal ini sangat penting untuk diperhatikan dalam memahami sistem kerja dari aki. Dimana, kehadiran dari struktur morfologi dan kelekatan masa aktif kepada plat elektroda juga memiliki peran yang besar dalam perilaku elektrik aki. Material aktif tidak hanya lapisan tipis yang melapisi plat elektroda, namun memiliki struktur yang lebih kompleks. Strukturnya memiliki poro dan ketebalan yang didesain oleh perusahaan manufaktur dengan komposisi yang tepat untuk produksi aki. Menambah ketebalan pada material aktif ini akan menambah kapasitas dan *cycle-life* dari aki itu sendiri.



Gambar 2. 9 Skema Dari Struktur Dasar Material Aktif Positif [7]

Struktur dari material aktif ini akan sangat mempengaruhi tingkat kapasitas dan daya tahan dari aki. Penambahan beberapa zat pada pasta timbal murni dan pasta timbal dioxida dapat meningkatkan daya hantar listrik dari material aktif, serta meningkatkan efisiensi pengisian dan pemakaian aki.

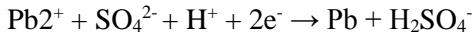
Seperti yang dibahas sebelumnya, kapasitas dan daya tahan aki sangat dipengaruhi oleh cara pemakaian aki. Misalnya, semakin tinggi temperatur menyebabkan meningkatnya pergerakan dan perpindahan ion, dimana akan menimbulkan bertambah luasnya area permukaan yang bereaksi dan menyebabkan menurunnya daya tahan dari aki itu sendiri. Tingkat arus listrik dari pemakaian aki pun mempengaruhi perilaku material aktif. Tingginya arus pemakaian dapat menurunkan laju difusi dari  $\text{HSO}_4^-$ . Hal ini menyebabkan meningkatnya reaksi yang terjadi pada permukaan, dimana materi aktif kontak secara langsung dengan sejumlah besar elektrolit (gambar 2.5).



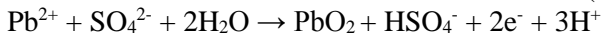
Gambar 2. 10 Tampak Atas Dari Material Aktif Negatif (a) Tingkat Pemakaian Rendah (b) Tingkat Pemakaian Tinggi [7]

Tidak seperti pada kondisi pemakaian, pada kondisi pengisian aki terdapat reaksi primer dan reaksi sekunder. Reaksi sekunder ini menggunakan sebagian besar arus yang didapatkan dari sumber, sementara tidak banyak berkontribusi dalam mengembalikan timbal sulfat menjadi timbal murni, hal ini mengurangi efisiensi dari pengisian aki. Reaksi kimia pada saat pengisian aki dapat dilihat pada persamaan dibawah ini.

Reaksi pada elektroda negatif :



Reaksi pada elektroda positif :



Reaksi keseluruhan :



Evolusi oksigen pada elektroda positif :



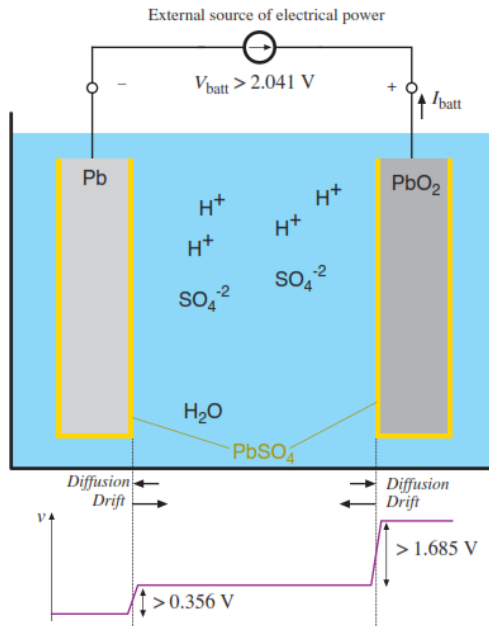
Kombinasi oksigen pada elektroda negatif :



Evolusi hidrogen pada elektroda negatif :



Reaksi pengisian ini terjadi pada masa aktif positif dan negatif. Persamaan 2.5 dan 2.6 merupakan kebalikan dari persamaan reaksi yang terjadi pada saat pemakaian aki (persamaan 2.3 dan 2.2). Dimulai dari penguraian timbal sulfat menjadi ion-ion timbal dan sulfat. Pada material aktif positif, ion ini bereaksi dengan molekul dari air untuk membentuk timbal oksida dan asam sulfat. Pada saat proses ini terjadi, terbentuk dua elektron yang berpindah menuju material aktif negatif timbal sulfat, melalui eksternal sirkuit.



Gambar 2. 11 Diagram Cell Aki Dalam Kondisi Pemakaian [8]

Kombinasi oksigen pada elektroda negatif yang membuat aki jenis VRLA menjadi “*maintenance free*” tidak seperti *flooded* aki dimana ventilasi membuang gas oksigen dan hidrogen saat pengisian, dan membuat aki jenis ini memerlukan penambahan air secara periodik.

## **2.2 Proses Casting**

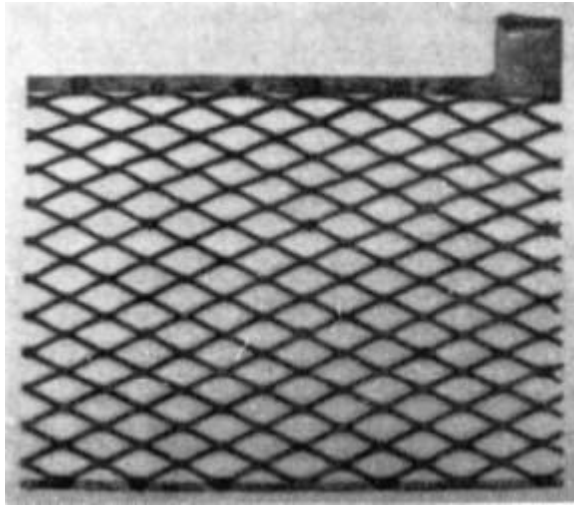
Proses *casting* pada dasarnya meliputi penuangan metal dalam bentuk cair kedalam cetakan yang sudah memiliki motif sesuai dengan bagian jadi yang ingin dihasilkan, lalu membiarkannya mengeras, dan melepaskan bagian yang telah jadi tersebut dari cetakan. Namun, perlu dilakukan pemahaman yang lebih dan teknik *casting* yang baik agar hasil dari proses *casting* memiliki kualitas yang baik dengan biaya produksi yang ekonomis. Beberapa hal penting yang perlu dipertimbangkan dalam melakukan proses *casting* antara lain adalah aliran metal cair yang masuk pada rongga cetakan, proses solidifikasi dan pendinginan dari metal cair didalam cetakan, dan pengaruh dari tipe cetakan material yang digunakan. Proses *casting* sendiri memiliki ragam yang sangat banyak, dan untuk pemilihan proses yang ingin digunakan disesuaikan dengan jenis material yang akan di-*casting*, dan tingkat kompleksitas hasil geometri yang diinginkan. Tingkat kompleksitas ini meliputi bentuk, kekasaran permukaan, perlu dilakukan proses *post-casting* atau tidak, kecepatan produksi, dan masih banyak parameter lainnya.



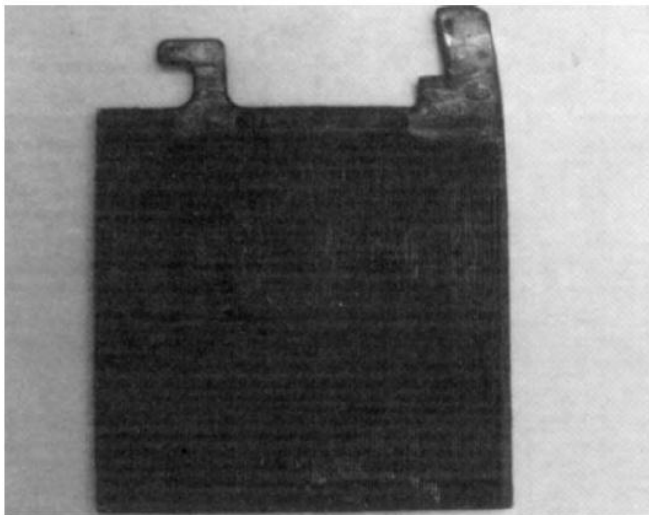


Gambar 2. 12 Proses Casting di PT.Indobatt Industri Permai

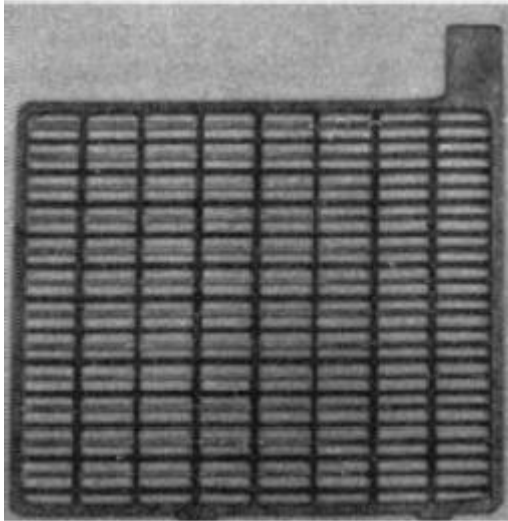
Gambar 2.12 merupakan proses casting yang terdapat di PT. Indobatt Indutri Permai. Pada proses ini *grid* dibuat dengan cetakan yang sudah ada. Grid kemudian ditempelkan massa aktif material pada proses pasting. Tujuan dari grid sendiri adalah untuk menahan bahan aktif dan juga untuk menghantarkan listrik antara bahan aktif material dan terminal sel. Logam selain paduan timbal telah diteliti untuk memberikan konduktivitas listrik yang lebih baik seperti tembaga ,alumunium, perak daripada timbal. Tetapi bahan-bahan ini tidak memiliki tidak memiliki daya tahan korosi di dalam elektrolit asam sulfat lebih dibandingkan dengan timbal dan sering kali lebih mahal dibandingkan dengan paduan timbal. Gambar 2.13 , 2.14, 2.15, dan 2.16 merupakan contoh dari bentuk-bentuk grid yang sudah dibuat pada proses casting.



Gambar 2. 13 *Expanded Wrought Grid*[3]



Gambar 2. 14 *Plante Grid* [3]



Gambar 2. 15 *Conventional flat grid* [3]



Gambar 2. 16 *Radial Design Grid* [3]

### 2.3 Grid Corrosion

Korosi yang terjadi di *grid* (kisi-kisi) pada baterai, sangat mempengaruhi umur pemakaian dan mengakibatkan kegagalan. Pada baterai, kutub-kutub plat dan elemen konduktor lainnya tercelup dalam larutan elektrolit. Pada elektroda positif pengurangan air dan kenaikan konsesntrasi ion hydrogen akan terjadi. Pada Pb terjadi kenaikan jumlah asam disekeliling elektroda positif dan kenaikan laju korosi. Pada kondisi ini Pb dalam kondisi stabil dan tedapat PbO<sub>2</sub>. Grid corrosion pada elektroda positif akan membuat korosi pada Pb menjadi PbO<sub>2</sub> menurut reaksi berikut.

3



PbO<sub>2</sub> yang dihasilkan merupakan lapisan yang cukup kompak untuk mempertahankan Pb dari korosi yang lebih lanjut. Proses korosi terjadi setelah lapisan pelindung pecah. Konsekuensinya korosi terjadi secara premature sedikit demi sedikit kedalam metal dengan laju yang linier.

Grid pada baterai digunakan sebagai rangka dan sebagai perantara listrik pada material aktif positif dan negatif. Tegangan akibat penggabungan reaksi elektrokimia dan pada grid plat positif dari baterai lead acid terjadi korosi dimana Pb menjadi PbO<sub>2</sub>. Produk hasil korosi (PbO<sub>2</sub>) memerlukan volume yang lebih besar daripada Pb. Volume ekspansi ini menyebabkan gaya mekanik pada Grid yang menyebabkan deformasi dan tegangan. Deformasi ini disebut pertumbuhan (growth). Selama kondisi awal korosi, pertumbuhan Grid lambat atau tidak dapat diukur tetapi kemudian lajunya menjadi steady ketika hasil korosi menjadi tebal dan pada grid yang melintang lebih tipis. Baterai dapat dibuat untuk menghasilkan sedikit pertumbuhan. Terlalu banyak korosi dapat menghasilkan pertumbuhan grid dengan jelas. Pada kondisi ini terjadi kehilangan kontak antara grid dengan material aktif dan meningkatkan kemungkinan konseleting dan akhirnya menimbulkan kegagalan baterai.

## **2.4 Investigasi Kerusakan (*Failure Investigation*)**

Analisa kegagalan adalah langkah-langkah pemeriksaan kegagalan atau kerusakan pada suatu komponen yang mempertimbangkan faktor-faktor situasi dan kondisi kegagalan atau kerusakan tersebut. Hasil yang diharapkan nantinya adalah dapat mengetahui penyebab kegagalan atau kerusakan yang terjadi pada komponen tersebut. Analisa kegagalan memiliki tujuan sebagai berikut :

1. Menemukan penyebab utama kegagalan komponen.
2. Menghindari kegagalan atau kerusakan yang sama di masa yang akan datang dengan melakukan langkah-langkah penanggulangan yang telah diketahui.

3. Sebagai bahan laporan kegagalan produk kepada pembuat atau produsen komponen tersebut.
4. Sebagai langkah awal untuk memodifikasi komponen tersebut.
5. Sebagai pertimbangan untuk menentukan jadwal pemeliharaan dilakukan.

Investigasi kegagalan atau kerusakan menggunakan metoda Root Cause Failure Analysis akan mempermudah dalam menemukan penyebab dan menanggulangi permasalahan yang terjadi. Adapun tahapan atau langkah utama dalam melakukan analisa kegagalan tersebut yaitu :

1. *Gather and organize data*
2. *Review current performance*
3. *Describe performances trends*
4. *Prioritize performance concerns*
5. *Identify root cause*
6. *Identify conclusion and action steps*
7. *Solution*

#### **2.4.1 Process Analysis, Mapping, dan Flowcharts**

Process analysis, mapping, dan flowcharts merupakan tools dari metoda Root Cause Failure Analysis. Tools ini berpaku pada proses yang dikelompokkan dalam bentuk diagram proses. Tujuan dari tools ini adalah untuk mengetahui secara jelas penyebab dari kegagalan atau kerusakan komponen.

#### **2.4.2 Why Analysis**

*Why analysis* merupakan *tools* dari metoda *Root Cause Failure Analysis*. *Tools* ini adalah teknik grafik yang mengandung sebuah penjabaran secara skematik dari kombinasi kejadian-kejadian dalam sebuah sistem. Dalam tools ini kita harus menganalisa secara kritis dengan selalu bertanya mengapa (*why*) untuk suatu permasalahan, agar dapat mengkombinasikan sebuah sistem dan mencari akar permasalahan yang terjadi.

## 2.5 Penelitian Terdahulu

R. Wagner tahun 1995 meneliti tentang *Failure Mode of Lead Acid Batteries in Different Application*[9] penelitian tersebut dilakukan analisis tentang penyebab kegagalan aki yang mempengaruhi dari umur aki tersebut. Kesimpulan yang didapat pada penelitian ini adalah terdapat 5 penyebab penuaan atau kerusakan aki, yaitu :

- *Positive Grid Corrosion*
- *Sulfation*
- *Failure of Negative Plates*
- *Short circuit*
- *Loss of wate*

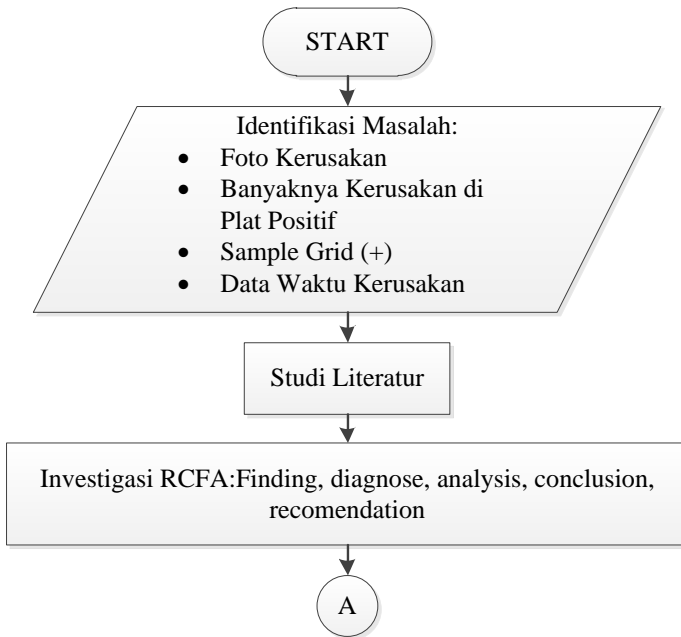
*(halaman ini dikosongkan)*



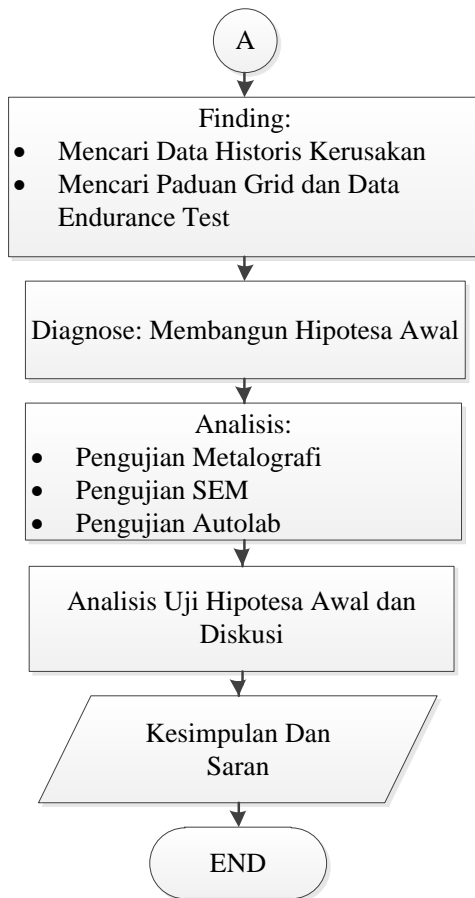
## BAB III METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1 Diagram Alir Penelitian

Penelitian tugas akhir ini akan melalui tahapan-tahapan yang diawali dari studi lapangan mengenai permasalahan yang diteliti, kemudian dilakukan pengumpulan data-data yang mendukung, melakukan studi literatur, melakukan investigasi *Root Cause Failure Analysis*, dan di bagian akhir melakukan penarikan kesimpulan dan rekomendasi. Diagram alir pada gambar 3.1 dibawah



Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian



### 3.2 Metodologi Penelitian

#### 3.2.1. Identifikasi Permasalahan

Pada tahap ini penulis melakukan identifikasi masalah di PT.Indobatt. Tahap ini penulis meninjau proses pembuatan aki terutama di proses casting dimana pada saat proses tersebut merupakan proses pembuatan grid dari aki sehingga penulis dapat memenuhi proses casting secara keseluruhan. Selain itu, laboratorium merupakan tempat yang ditinjau penulis. Data yang

diperoleh mengenai banyaknya kerusakan yang terjadi baterai didapat dari pihak laboratorium yang terdapat di PT.Indobatt Industri Permai. Data-data yang dibutuhkan sebagai acuan untuk mengidentifikasi masalah kerusakan pada *plat positif pada aki* adalah sebagai berikut :

1. Foto kerusakan plat positif pada *aki*
2. paduan dan bentuk grid
3. Banyaknya kerusakan yang terjadi di plat positif
4. Waktu kerusakan

Tahap ini dilakukan penulis untuk mengetahui dan mendapatkan data-data awal dari kondisi actual yang terjadi, serta mempelajari permasalahan yang ada di lapangan dan dapat dijadikan topik Tugas Akhir. Tahap ini menyangkut produksi aki di PT. Indobatt yang digunakan sebagai objek penelitian. Hal yang menjadi dasar dari identifikasi masalah adalah permasalahan degradasi massa aktif positif pada plat aki PT. Indobatt.

### **3.2.2. Studi Literatur**

Setelah melakukan studi lapangan dan pengumpulan data tahap selanjutnya adalah tahap studi literatur. Tahap ini dilakukan dengan mempelajari literatur terkait baik dari buku, jurnal ilmiah, media sosial internet dan sebagainya. penyebab dan proses permasalahan yang telah dirumuskan. Hal ini dilakukan untuk menambah wawasan dalam usaha penyelesaian permasalahan yang telah dirumuskan. Hal ini penting untuk dilakukan mengingat diperlukan landasan pemikiran yang baik untuk menganalisa dan mengatasi permasalahan yang ada.

### **3.2.3 Investigasi dengan Metode *Root Cause Failure Analysis***

Setelah data yang diperlukan terkumpul, maka dilakukan investigasi dengan metode RCFA sebagai berikut :

#### 3.2.3.1 Findings

Penulis melakukan *findings* dengan menggali informasi dari pihak laboratorium dan memperoleh kandungan paduan pada plat positif aki PT.Indobatt Industri Permai yang mengalami kerusakan. Pada tahap ini penulis juga mendapatkan hasil pengujian endurance. Penulis melihat secara langsung bentuk *failure* yang terjadi pada plat positif di lapangan dan melakukan survey kepada pihak laboratorium terkait.

#### 3.2.3.2 Diagnose

*Diagnose* atau melakukan hipotesis awal atau sementara mengenai penyebab kerusakan *grid corrosion*.

#### 3.2.4 Analysis

Penulis melakukan tahap *analysis* yaitu *hypothesis testing* dan *root cause identification/map* untuk mengidentifikasi akar masalah dan menganalisa hipotesis awal.

##### 3.2.4.1 Pengujian SEM

Melakukan uji SEM. Hal ini dilakukan untuk mengetahui secara mikroskopik kondisi dari grid. Pengujian SEM akan dilakukan di laboratorium SEM Teknik Material dan Metalurgi Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Spesifikasi dan gambar peralatan uji SEM ditunjukkan gambar 3.3 dibawah ini.



Gambar 3. 2 Alat Uji SEM

Spesifikasi :  
Nama Alat : Scanning Electron Microscope  
Merek : CARL ZEISS  
Tipe : EVO MA10  
No Seri : EVO10-06-09  
Asal Negara : Inggris  
Perolehan : Tahun 2010

#### 3.2.4.2 Pengujian Metalografi

Melakukan pengujian metalografi ini dilakukan untuk mengetahui struktur mikro dari plat positif dari aki yang diproduksi dari PT.Indobatt. Pengujian ini juga dapat mengetahui kecacatan dari sebuah plat positif tersebut. Pengujian Metalografi ini

dilakukan di laboratorium metallurgi teknik mesin Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

Langkah-langkah pengamatan metalografi menggunakan mikroskop optik adalah sebagai berikut:

1. Menyiapkan spesimen grid
2. Spesimen *digrinding* dengan menggunakan kertas gosok dengan grid 80 – 2000 pada mesin *grinding* dan *polishing*.
3. Spesimen *dipolishing* dengan menggunakan kain yang diberi serbuk alumina hingga diperoleh spesimen yang bebas dari goresan.
4. Spesimen *dietsa* menggunakan campuran 87% glicerol, 65% asam nitrat, dan 65% *glacial acetic acid* selama 3 - 5 detik lalu spesimen segera dicuci dengan menggunakan alkohol dan *aquades* yang bertujuan untuk mengekstraksikan struktur mikro yang terbentuk.
5. Spesimen diamati struktur mikro dan fase yang terjadi dengan mikroskop optik dengan perbesaran 50x dan 100x

#### 3.2.4.3 Pengujian Autolab

Melakukan pengujian Autolab ini untuk mengetahui laju korosi dari grid. Pengujian ini dilakukan di metallurgi teknik mesin Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Dalam melakukan pengujian autolab diperlukan beberapa peralatan yang diperlukan, antara lain:

##### 1. Autolab

Adapun spesifikasi dari alat uji autolab antara lain:

Tipe	: PGSTAT302N
Nomor seri (15/11/2011)	:AUT84992
Daya	: 300 VA
Frekuensi	: 50-60 Hz

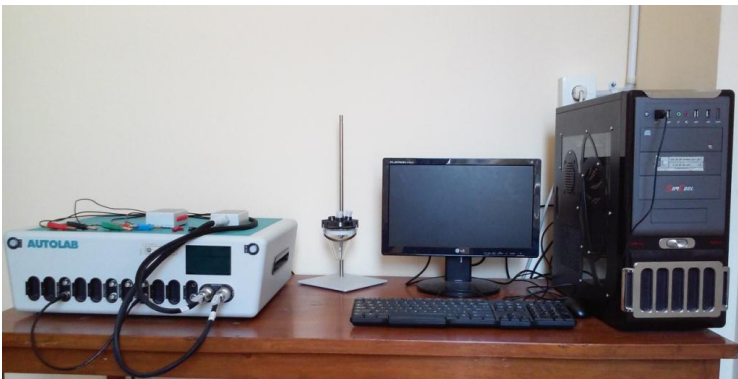
Koneksi elektroda	: 2, 3 dan 4
Arus maksimum	: $\pm 2$ A
Range arus	: 1 nA hingga 1 A
Akurasi arus	: $\pm 0,2$ %
Resolusi arus	: 0,0003 %
Range tegangan	: $\pm 10$ V
Akurasi tegangan	: $\pm 0,2$ %
Resolusi tegangan	: $0,3 \mu\text{V}$
Buatan	: Belanda

## 2. Monitor

Digunakan untuk menampilkan parameter yang harus dimasukkan dan menampilkan grafik hasil pengujian.

## 3. *Central Processing Unit (CPU)*

Digunakan untuk melakukan proses pengiriman parameter ke alat Autolab sesuai dengan pengujian yang akan dilakukan serta mengolah hasil pengujian sehingga dapat ditampilkan grafik pada monitor.



Gambar 3. 3 Peralatan pengujian Autolab

### 3.2.4.4 Bahan dan Peralatan Uji

#### 1. Spesimen yang Diuji

Pada penelitian kali ini penulis menggunakan spesimen plat positif yang diambil dari aki yang diproduksi

PT.Indobatt Industri Permai Spesimen ini nantinya akan melakukan pengujian metalografi, SEM, dan korosi. Selain itu, ada spesimen lain yaitu grid yang sudah mengalami perbaikan proses casting. Spesimen ini hanya melakukan pengujian korosi saja. Nantinya spesimen ini akan dibandingkan hasil pengujian korosi nya dengan spesimen yang belum mengalami perbaikan proses casting. Gambar 3.4 menunjukan spesimen yang diuji dan gambar 3.5 menunjukan spesimen pembanding.



Gambar 3. 4 Plat Positif Aki NS60





Gambar 3. 5 Grid yang Sudah Mengalami Perbaikan Proses Casting

### **3.2.5 Analisa dan Diskusi**

Tahap selanjutnya adalah melakukan analisa dan diskusi mengenai hasil dari pengujian Endurance dan metallografi . Dari hasil tersebut dianalisa penyebab-penyebab kegagalan tersebut bisa terjadi. Hasil penelitian ini dapat digunakan untuk PT.Indobatt Industri Permai sebagai rekomendasi untuk proses produksi aki.

### **3.2.6 Conclusion and Recommendation**

Pada tahap ini merupakan langkah akhir dalam penelitian tugas akhir yang menyajikan informasi mengenai kesimpulan yang didapat berdasarkan analisa sehingga dapat memberikan solusi yang tepat, dan efektif kepada pihak laboratorium PT. Indobatt Industri Permai perihal topik yang diangka

*(halaman ini dikosongkan)*

## **BAB IV**

### **PENGOLAHAN DAN ANALISA DATA**

Bab ini akan membahas tentang pengumpulan data dan analisa penyebab *grid corrosion* pada plat positif aki di PT. Indobatt. Analisa penyebab kerusakan dilakukan dengan mengacu kepada kondisi operasional, histori, foto kerusakan, data hasil endurance test, dan informasi penunjang lainnya yang didapatkan dari pihak PT. Indobatt. Dari hasil studi lapangan dan studi literatur pada plat positif aki diperoleh beberapa data. Setelah itu dilakukan pengujian untuk memperoleh data yang dapat membantu untuk menemukan akar penyebab terjadinya kerusakan pada plat positif

#### **4.1 History Plat positif di PT. Indobatt**

Data-data yang didapatkan, sehingga menjadi dasar acuan atau referensi dalam mengidentifikasi penyebab terjadinya degradasi massa aktif positif, adalah sebagai berikut :

- 1) Foto-foto rusaknya plat positif
- 2) Data komplain konsumen
- 3) Data Endurance Test

##### **4.1.1 Foto-foto Rusaknya Plat Positif**

Foto-foto rusaknya grid positif diperoleh dari pihak laboratorium PT. Indobatt.



(a)



(b)

Gambar 4. 1 Kerusakan Grid Positif Tipe (a) NS60S NEO (b) NS40Z NGS

Gambar 4.1 menunjukkan bahwa rusaknya plat positif pada aki NS60S NEO dan NS40Z NGS. Aki NS60S NEO dan NS40Z

NGS merupakan produk aki yang diproduksi PT. Indobatt Industri Permai yang kemudian di komplain oleh customer. Gambar 4.1 merupakan gambar keadaan plat positif setelah aki dibongkar oleh pihak PT. Industri Permai. Terlihat aki sudah rusak dan hancur. Massa aktifnya yang seharusnya menempel sudah terlepas dari platnya tersebut.

#### 4.1.2 Data Komplain Konsumen

Rusak atau rontoknya plat positif terjadi lebih cepat dari yang diperkirakan sebelumnya. Akibat rontoknya plat positif ini, aki yang digunakan oleh customer ini menjadi tidak berfungsi dengan baik. Aki tersebut menjadi tidak bisa starter sehingga aki dikembalikan ke PT. Indobatt untuk diteliti kembali. Setelah aki tersebut diteliti, PT. Indobatt bisa mengetahui penyebab terjadinya rusaknya plat positif pada aki tersebut sehingga bisa menjadi evaluasi dan dapat meningkatkan kualitas dari produksi aki PT. Indobatt. Adapun contoh data komplain aki yang diterima PT. Indobatt seperti pada gambar 4.2.

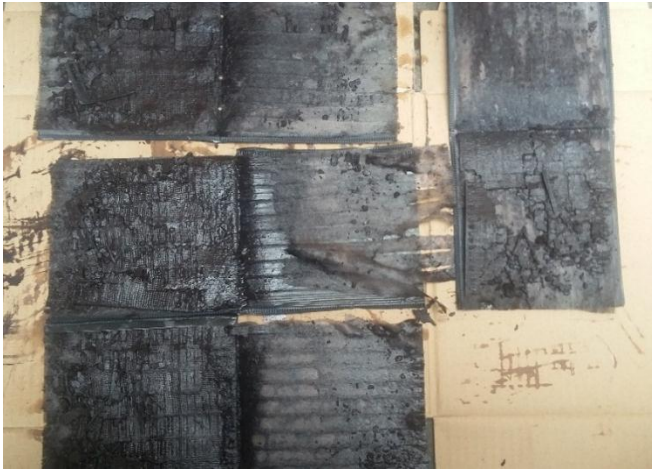
Tgl.	26 Desember 2016							DATA SERVICE	I	II	III																
Agan / Gerai	JAGO AKI MERK KALIJUDAN							Tanggal	3-9-2016	14-11-2016	15-12-2016																
SIG / Kode customer	SIG-1609037-0001							Kilometer	33434	38141	42403																
Nama Customer	ARI							Volt	12.66	12.97	12.42																
Alamat	KALIJUDAN TAPUJAN S168							CCA	372	408	424																
Merk Kendaraan	TOYOTA AVANZA Tahun : 2015							V-Stater	11.58	10.82	10.24																
No Garansi	7160892470							Load Off	14.15	14.16	14.03																
Type Aki	N560 NED							Load ON	13.89	13.92	13.9																
Tgl Produksi	140716							Sistem Kelistrikan	baik	BAK	BAK																
Kode Produksi	200565							Isi	V	V	V																
Keluhan (Kronologi/Gejala)	<b>MOBIL TIDAK BISA STATER</b>  <table border="1"> <tr> <td>Bak</td><td>Pole</td><td>Plat</td><td>Elektrolit</td><td>Separator</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr> <td>BAK</td><td>BAK</td><td>PLAT NOMER 1 PASTA RONTOK</td><td>DI RENDAM PADA CELL NOMER 1</td><td>BAK</td><td></td><td></td><td></td></tr> </table>							Bak	Pole	Plat	Elektrolit	Separator				BAK	BAK	PLAT NOMER 1 PASTA RONTOK	DI RENDAM PADA CELL NOMER 1	BAK				Teknisi	ARICK	ARICK	DIMAS
Bak	Pole	Plat	Elektrolit	Separator																							
BAK	BAK	PLAT NOMER 1 PASTA RONTOK	DI RENDAM PADA CELL NOMER 1	BAK																							
DATA SERVICE	IV	V	VI																								
Tanggal	26-12-2016																										
Kondisi Visual Accu	<table border="1"> <tr> <td>Bak</td><td>Pole</td><td>Plat</td><td>Elektrolit</td><td>Separator</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr> <td>BAK</td><td>BAK</td><td>PLAT NOMER 1 PASTA RONTOK</td><td>DI RENDAM PADA CELL NOMER 1</td><td>BAK</td><td></td><td></td><td></td></tr> </table>							Bak	Pole	Plat	Elektrolit	Separator				BAK	BAK	PLAT NOMER 1 PASTA RONTOK	DI RENDAM PADA CELL NOMER 1	BAK				Kilometer	44037		
Bak	Pole	Plat	Elektrolit	Separator																							
BAK	BAK	PLAT NOMER 1 PASTA RONTOK	DI RENDAM PADA CELL NOMER 1	BAK																							
Volt																											
CCA																											
Volt :	10.53							V-Stater																			
Volt Intercell	0.66	1.87	2.04	2.07	2.11	2.03	-0.54	Load Off																			
BJ	1	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25		Load ON																			
Load	tidak di load di karenakan tegangan di bawah standar untuk di load							Sistem Kelistrikan																			
Analisa Keadaan Awal	PLAT RONTOK PADA CELL NOMER 1							Isi																			
								Teknisi																			
Tindak Lanjut	<b>DI CHARGE DAN SETELAH DI DIAMKAN SEMALAM</b>																										
Volt :	10.34							Kesimpulan	CACAT PRODUKSI																		
Volt Intersel	0.63	1.8	2.07	2.1	2.12	2.14	-0.64	PASTA PADA CELL NOMER 1 RONTOK																			
BD	1	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25		Sebab Kejadian	PROSES PRODUKSI																		
Load																											
Keputusan	DI BELAH							Asal masalah																			

Gambar 4. 2 Form Komplain Kerusakan Aki 26 Desember 2016



Gambar 4. 3 Aki NS60 NEO

Pada gambar 4.2 dapat dilihat bahwa terjadi komplain atas kerusakan aki mobil yang menyebabkan mobil tidak bisa dihidupkan. Data tersebut menunjukkan kerusakan pada aki NS60 NEO (gambar 4.3) yang di produksi pada tanggal 14 Juli 2016 dan digunakan oleh mobil Toyota Avanza selama 4 bulan. Setelah aki diterima, kemudian dibongkar. Gambar 4.4 merupakan gambar plat yang terdapat pada cell satu Dapat dilihat bahwa plat pada cell satu di aki NS60 NEO mengalami kerontokan sehingga aki tersebut tidak bisa lagi untuk melakukan starter pada mobil.



Gambar 4. 4 Plat Positif Aki NS60 NEO

#### 4.1.3 Data Endurance Test

Berdasarkan komplain yang didapat customer, maka aki NS60 NEO diuji dengan menggunakan metode pengujian *endurance*. Pengujian *endurance* dilakukan dengan menggunakan standar SAE J240. Pengujian ini mensimulasikan aki pada saat dioperasikan di kendaraan. Tujuan pengujian ini untuk mengetahui apakah aki tersebut mengalami masalah atau tidak ketika dioperasikan di kendaraan. Berdasarkan SAE J240, kondisi *discharging* dilakukan selama 4 menit dengan arus 25 A, *charging* dilakukan selama 10 menit dengan arus 25 A dan maksimal tegangan 14.8 V. pengujian dilakukan sesuai langkah-langkah yang sudah dijelaskan sebelumnya. Hasil uji *endurance* terhadap aki NS60 NEO #5 dapat dilihat pada tabel 4.1.

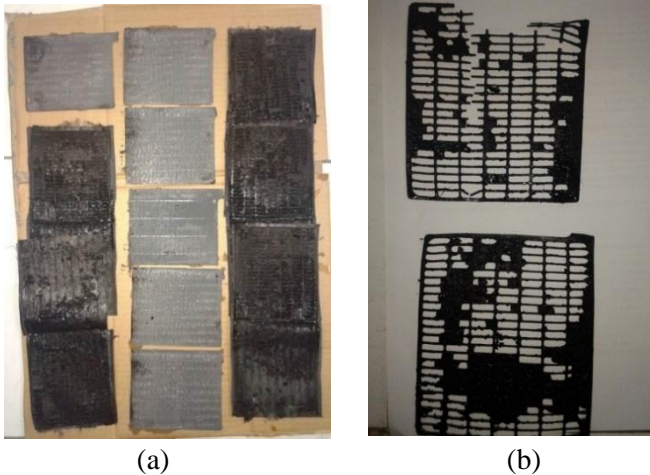
**Tabel 4. 1** Hasil Pengujian Endurance

NS60MF #5	W0	Week 1	Week 2	Week 3	Week 4	Week 5	Week 6
<i>Date of testing</i>	13.07	20.07	27.07	3.08	10.08	17.08	24.08
CCA (A)	440	447	443	443	425	421	291
Volt Verificationn (v)		9.13	9.27	9.17	9.03	9.15	5.32

Pengujian dilakukan pada tanggal 13 juli 2016 di PT. Indobatt. Data awal sebelum pengujian endurance test adalah CCA sebesar 440 ampere. Berdasarkan tabel 4.1, aki dapat bertahan sampai week ke-6. Dimana satu unit adalah satu minggu pengujian yang terdiri dari 428 *cycle* pada aki. Nilai CCA Unit 1 sampai week 5 tidak mengalami perubahan yang terlalu signifikan. Pada week 1 justru mengalami kenaikan dari 440 ampere menjadi 447. Baru lah saat week 2 sampai week 5 mengalami penurunan. Penurunan terbesar terjadi pada week 6. Yang awal nya 421 ampere menjadi 291 ampere. Spesifikasi dari aki NS60MF ini memiliki standard CCA sebesar 335 ampere. Berdasarkan pegujian pada week 6 ini aki tersebut melewati batas minimal dari spesifikasi CCA aki tersebut. Volt verification pada unit 1 sebesar 9,13 volt. Unit dua menunjukkan kenaikan volt verification menjadi 9,27 volt. Unit tiga mengalami penurunan dari 9,27 volt menjadi 9,17 volt. Dari unit 3 menuju unit 4 kembali lagi mengalami penurunan yang awalnya 9,17 volt menjadi 9,03 volt. Terjadi kenaikan pada unit lima. Dari 9,03 volt menjadi 9,15 volt. Barulah terjadi keanehan pada unit enam. Yang awalnya 9,15 volt menjadi 5,32 volt. Hasil yang didapat pada unit enam menunjukkan bahwa voltase verifikasi pada unit unit enam tidak memenuhi standard voltase verifikasi. Standar dari voltase verifikasi sendiri adalah 7,2 volt. Setelah unit enam, aki tidak memenuhi standar untuk melanjutkan pengujian, dimana voltase verifikasi nya dibawah 7,2 volt. Kemudian setiap cell diukur voltase nya. Setelah diukur, voltase pada cell satu dan empat

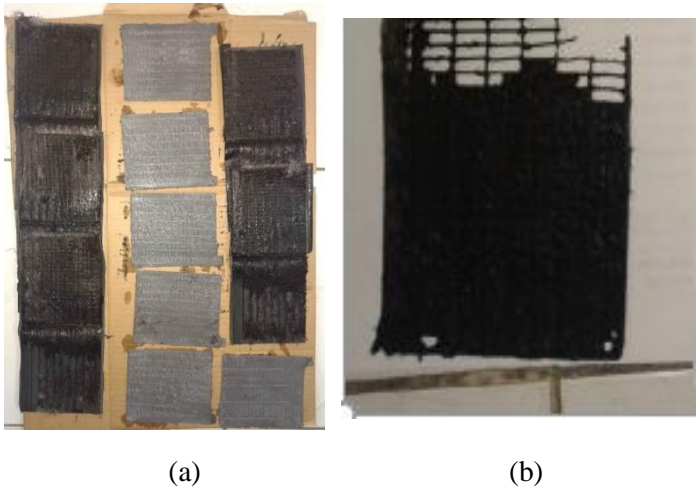


memiliki nilai 0,93 volt dan 1,02 volt. Kemudian cell satu dan empat di bongkar. Gambar 4.5 menunjukkan keadaan plat pada cell satu. Dapat dilihat bahwa plat positif sudah hancur dan juga material aktif nya sudah terdegradasi. jenis kerusakan pada aki yang menyebabkan penurunan tegangan pada aki tersebut. Dapat dilihat pada gambar 4.5 bahwa kerusakan terjadi pada plat positif yang sudah rontok.



Gambar 4. 5 Keadaan cell satu Setelah Uji Endurance Unit Enam  
(a) Plat Positif dan Plat Negatif (b) Rontoknya Plat Positif

Kondisi yang tidak jauh berbeda juga terjadi pada cell empat. Setelah cell satu dibongkar, dilanjutkan ke cell empat. Gambar 4.6 keadaan plat pada cell empat setelah di endurance test. Sampai minggu ke 6.



Gambar 4. 6 Keadaan cell Empat Setelah Uji Endurance Unit Enam (a) Plat Positif dan Plat Negatif (b) Rontoknya Plat Positif

Dapat dilihat bahwa plat positif sudah mengalami kerontokan dan juga massa aktif nya. Berdasarkan hasil pembongkaran pada cell satu dan cell empat mengindikasikan bahwa plat pada cell satu dan cell empat mengalami *grid corrosion*. Hal inilah yang menjadi penyebab aki mengalami penurunan voltase pada unit enam dan tidak melanjutkan pengujian endurance test.

#### 4.2. Posibilitas Penyebab Kegagalan

Grid corrosion merupakan hal yang secara natural terjadi pada lead acid battery terutama di plat positif. Hal tersebut tidak dapat dihindarkan, tetapi bisa diperlambat laju nya. Dengan memperlambat lajunya, umur dari aki bisa menjadi lebih lama dari sebelumnya. Namun grid corrosion merupakan kegagalan yang paling berpengaruh dalam penyebab gagal nya aki. Dalam mengidentifikasi penyebab terjadinya grid corrosion, berdasarkan hasil diskusi dengan pihak PT. Indobatt dan studi literatur ada beberapa kemungkinan penyebab terjadinya *grid corrosion* tersebut.

### 1. *Overcharge*

Hal yang biasa terjadi pada baterai *lead acid* adalah kehilangan air dari cairan elektrolit selama siklus berlangsung. Beberapa hal yang akan terjadi ketika proses *overcharge*:

- a. Menghasilkan peningkatan jumlah dan ukuran jalur oksigen antara elektroda positif dengan elektroda negatif.
- b. Meningkatkan efisiensi rekombinasi oksigen dalam baterai.
- c. Akan terjadi *water loss*.

Jika baterai mengalami *overcharge* maka dapat memicu terjadinya *water loss*. Apabila *overcharge* terjadi secara terus-menerus, akhirnya elektrolit dapat mencapai nilai kritis sehingga hanya tersisa 10% dari yang awalnya tersedia. Dampak dari adanya *water loss* yaitu hambatan listrik baterai akan meningkat. Kehilangan air juga dapat terjadi oleh faktor difusi melalui *casing* dan tutup baterai. Tetapi difusi biasanya tidak terlalu signifikan terjadi pada baterai *lead acid*. *Overcharge* dapat mempercepat laju korosi pada grid positif. Jika korosi mencapai nilai kritis (40-50% dari total *grid Pb*) maka akan mengakibatkan penurunan konduktivitas baterai pada area *grid*, lapisan korosi dan aktif material.

### 2. Temperatur Tinggi

Ketika baterai dioperasikan pada temperatur yang tinggi, plat positif akan mengalami korosi dan penguapan elektrolit. Baterai dengan konsentrasi elektrolit yang tinggi akan lebih baik karena relatif banyak air yang akan hilang sebelum elektrolit kering sehingga berdampak pada performa baterai. Baterai gel biasanya berisi 20% lebih banyak kadar asam daripada baterai *AGM*. Untuk aplikasi temperatur

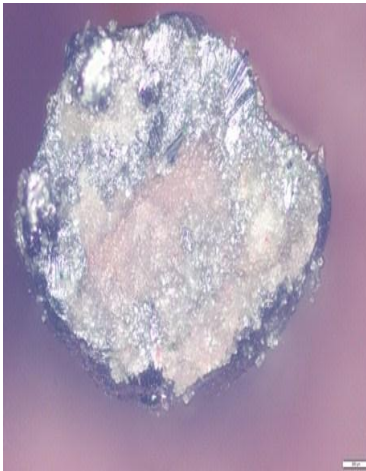
tinggi harus menggunakan paduan grid positif baterai dengan ketahanan korosi yang tinggi. Namun perlu dipertimbangkan keseimbangan antara arus korosi pada grid positif dan arus *self-discharge* di elektroda negatif.

### 3. *Impurities*

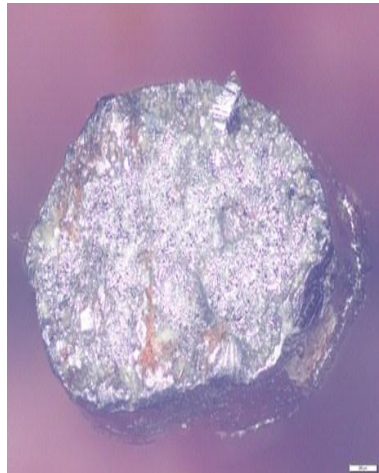
Mikrostruktur dari metal dan paduannya terbentuk dari butir-butir dan dipisahkan dengan batas butir. *Impurities* yang reaktif dapat menciptakan kekosongan unsur utama dari batas butir. Hal ini menyebabkan penurunan ketahanan korosi secara cepat pada daerah batas butir. Fenomena ini bisa disebut *intergranular corrosion*. *Intergranular corrosion* merupakan korosi yang menyerang sepanjang daerah batas butir atau yang berdekatan langsung dengan batas butir, sementara butir-butirnya tidak terpengaruh. *Impurities* bisa berupa inklusi-inklusi. Hal ini menyebabkan laju korosi pada plat menjadi lebih cepat. Hal ini dapat menyebabkan pertumbuhan pada plat sehingga plat positif dan plat negatif bisa bersentuhan dan mengalami *short circuit*

### 4.3. Pengamatan Struktur Mikro

Pengujian metalografi dilakukan untuk pengamatan struktur mikro dari plat positif dari aki NS60 NEO yang sudah melakukan *endurance test*. *Sample* yang diamati adalah pada bagian *wire* yang mengalami patah, pada *frame* utama bagian atas, dan pada *frame* utama bagian bawah yang tidak mengalami patah dengan menggunakan mikroskop. *Sample wire* patah yang diamati tidak digosok terlebih dahulu untuk melihat pola patahan yang terjadi. *Sample frame* utama bagian atas dan bawah digosok terlebih dahulu karena ditujukan untuk melihat kondisi bagian dalam plat.



(a)

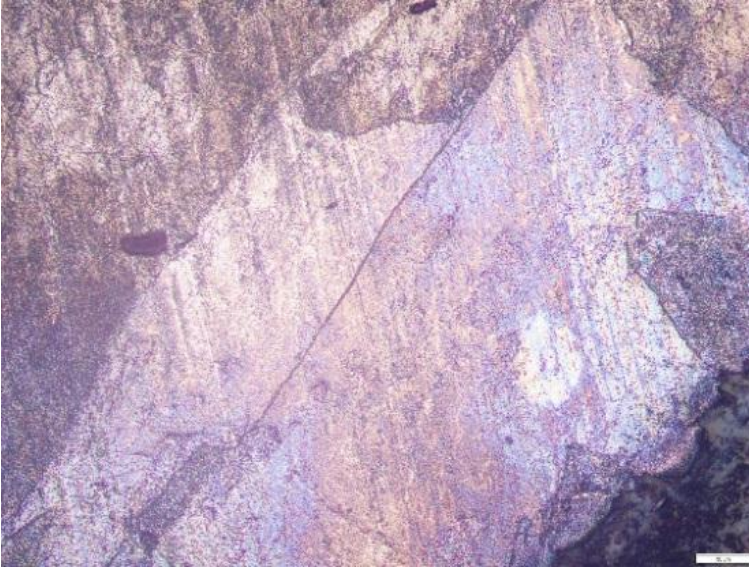


(b)

Gambar 4. 7 Hasil pengamatan mikroskop pada bagian wire yang mengalami patah (a), dan pada bagian sambungan wire yang mengalami patah (b), dengan perbesaran 100x.

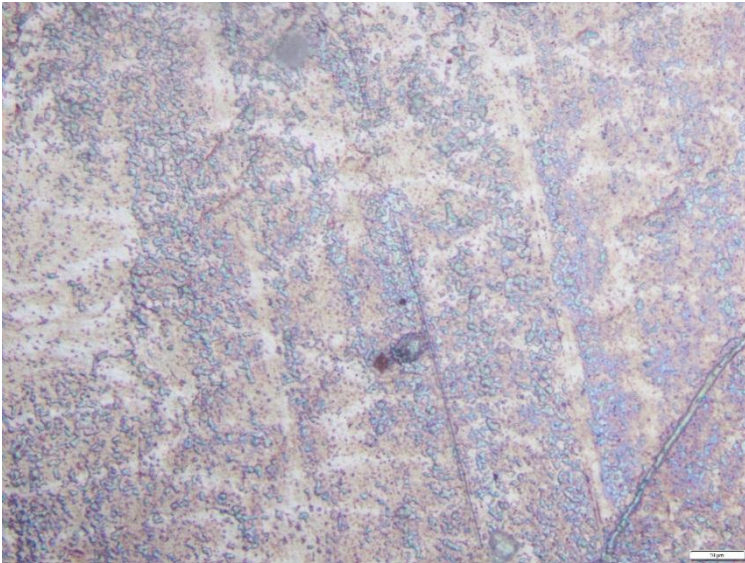
Pada gambar 4.7 (a) merupakan hasil mikroskop bagian wire yang mengalami patah. Gambar 4.7 (b) merupakan bagian sambungan wire yang patah. Dari kedua gambar tersebut dapat dilihat bahwa pola patahan yang terjadi pada *wire* plat. hal ini menandakan bahwa patahan yang terjadi pada *wire* plat merupakan jenis patah yang diakibatkan tegangan yang ditimbulkan dari material aktif yang berubah menjadi  $\text{PbSO}_4$  atau kembali menjadi  $\text{PbO}_2$ . Hal ini bertolak belakang dengan fungsi dari *grid* untuk menahan tegangan yang ditimbulkan dari perubahan dari material aktif yang menempel pada *grid*. Ketidakmampuan *grid* dalam menahan gaya yang ditimbulkan material aktif ini dapat terjadi karena *grid corrosion*. Pengamatan kemudian dilakukan pada bagian lain dari plat yaitu pada *frame* utama untuk mengetahui kondisi plat tersebut. Pengamatan dilakukan pada bagian tersebut dikarenakan bagian ini merupakan

bagian yang cukup tebal dan memiliki lebih banyak volume logam *lead-antimony* dibandingkan dengan bagian *wire* pada plat.



Gambar 4. 8 Hasil pengamatan mikroskop pada frame utama dengan perbesaran 50x

Pada gambar 4.8 yang merupakan *sample* dari *frame* utama plat. Berbeda dengan sebelumnya, pada gambar 4.8 ini plat digerinding atau digosok. Kemudian di etsa dengan larutan etsa. Daerah yang dapat terlihat antara lain adalah daerah yang hitam yang terdapat di pojok kanan bawah, daerah yang kasar berada ditengah, dan daerah bulat lonjong yang berwarna gelap/hitam. Daerah kasar yang berada ditengah merupakan bagian *lead-antimony*. Bagian warna hitam yang terdapat di pojok kanan bawah merupakan resin yang digunakan pada proses *mounting*. Daerah bulat lonjong yang berwarna gelap/hitam merupakan *impurities*. Daerah ini yang mengindikasikan grid tersebut mengalami *grid corrosion*.



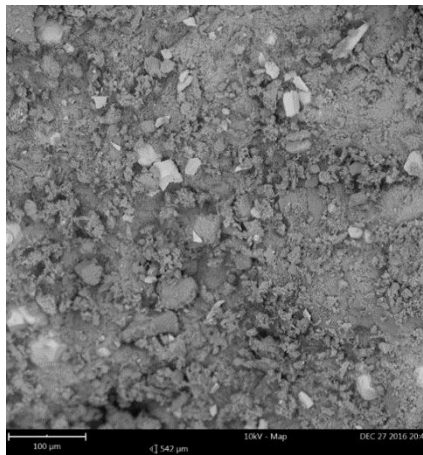
Gambar 4. 9 Hasil pengamatan mikroskop pada frame utama untuk perbesaran 100x

Gambar 4.9 merupakan pengamatan dengan perbesaran 100x dari *frame* utama *grid*. Dapat dilihat bahwa terdapat banyak titik kecil yang berwarna biru. Dibagian tengah juga terdapat buletan berwarna gelap atau hitam. Hal ini juga menunjukkan ketidakseragaman plat positif tersebut. Ketidakseragaman ini mengindikasikan *impurities* yang merupakan penyebab dari *grid corrosion*.

#### 4.4 Pengujian SEM

Setelah dilakukan pengujian metalografi, sample *grid* yang sudah melakukan *endurance test* dilihat morfologinya menggunakan *Scanning Electron Microscope*. Berdasarkan

pengujian *Scanning Electron Microscope (SEM)*.didapatkan hasil pengujian berupa morfologi dari plat positif seperti pada gambar 4.10. Dapat dilihat bahwa terdapat kotak-kotak silver yang memilki warna yang berbeda dari yang lain. Kotak-kotak tersebut merupakan *impurities*. Berdasarkan hasil pengujian SEM, semakin menguatkan bahwa plat positif yang diproduksi PT.Indobatt memiliki *impurities*.



Gambar 4. 10 Hasil Uji SEM Plat Positif Aki PT.Indobatt

Impurities pada plat positif ini adalah inklusi dari oksida *lead-antimony*. Inklusi ini merupakan hasil proses *casting* yang kurang sempurna. Pengaturan temperatur pada proses *casting* mempengaruhi kualitas grid. Berdasarkan hasil peninjauan di PT.Indobatt, gradien suhu yang terlalu tinggi di *ladle* dan *mold*. Hal ini menyebabkan lead yang dicairkan mengalami tingkat penyusutan yang tinggi akibat dari proses solidifikasi yang tinggi dengan gradien suhu yang tinggi. Akibat penyusutan ini, grid mengalami tarikan ke segala arah sehingga menurunkan daya tahan terhadap korosi karena tidak dapat mempertahankan strukturnya dengan baik. *Impurities* ini muncul sebagai akibat dari logam cair yang sudah memiliki banyak *impurities* sejak awal proses yang



kemudian ikut masuk pada *mold* saat pencetakan plat dilakukan. Hal ini disebabkan oleh *dross* yang ada pada proses *casting*. *Dross* tersebut terdapat pada *ladle*. *Dross* yang ada pada *ladle* terbentuk karena *ladle* terpapar oleh udara bebas secara terus menerus, hal ini diakibatkan oleh tidak adanya *cover* penutup pada *ladle*, sehingga logam cair yang ada pada *ladle* tidak terisolasi dan terus menerus bereaksi dengan udara sekitar. *Ladle* merupakan tempat penampungan lead cair sebelum masuk ke proses pencetakan. Ketika proses *casting* berlangsung, *dross* tersebut tidak dibersihkan sehingga masuk dalam proses pencetakan *Dross* tersebut lah yang menyebabkan inklusi pada plat positif tersebut

#### 4.5 Pengujian Korosi.

Setelah mengetahui struktur mikro dan juga morfologi dari *grid*, maka dilakukan pengujian korosi. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui perbedaan laju korosi dari *grid* sebelum dan sesudah dilakukan proses perbaikan *casting*. Perbaikan tersebut berupa pembersihan *dross* pada *ladle* dan penurunan temperatur pada proses *ladle*. Penjelasan mengenai rincian perbaikan proses *casting* dijelaskan pada bab 5.

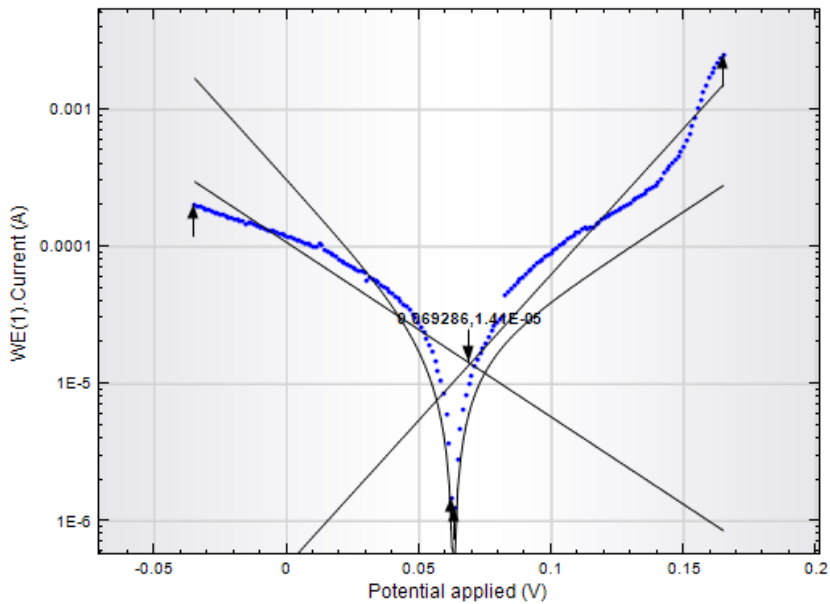
Pengujian ini diawali dengan memotong kedua spesimen *grid* menjadi ukuran lebih kecil. Gambar 4.11 dan Gambar 4.12 menunjukkan hasil dari *grid* yang sudah dipotong. Kemudian dihubungkan ke kabel merah. Kemudian direndam menggunakan larutan elektrolit  $H_2SO_4$ . Lalu membuka aplikasi nova. Aplikasi ini untuk menjalankan alat dari autolab tersebut. Hasil yang didapatkan dari pengujian korosi tersebut dapat dilihat juga pada aplikasi nova ini. Gambar 4.13 dan gambar 4.15 merupakan grafik yang didapatkan dari pengujian korosi. Gambar 4.14 dan gambar 4.16 merupakan data yang didapatkan dari pengujian korosi.



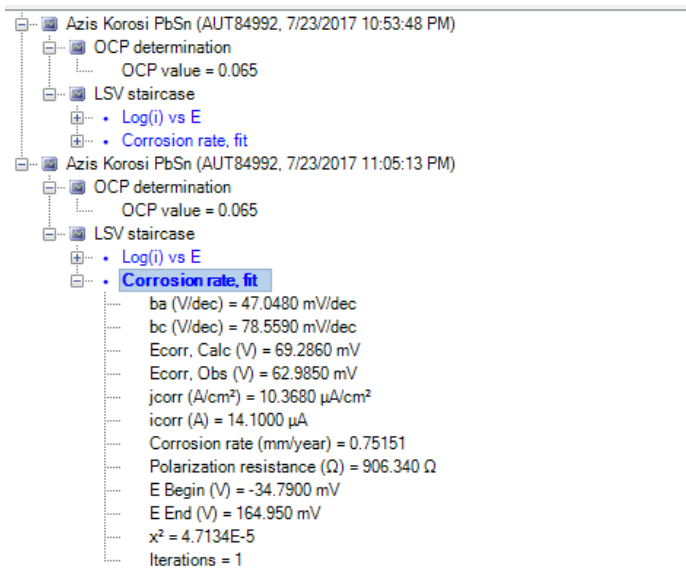
Gambar 4. 11 Grid yang Belum melalui Proses Perbaikan Casting



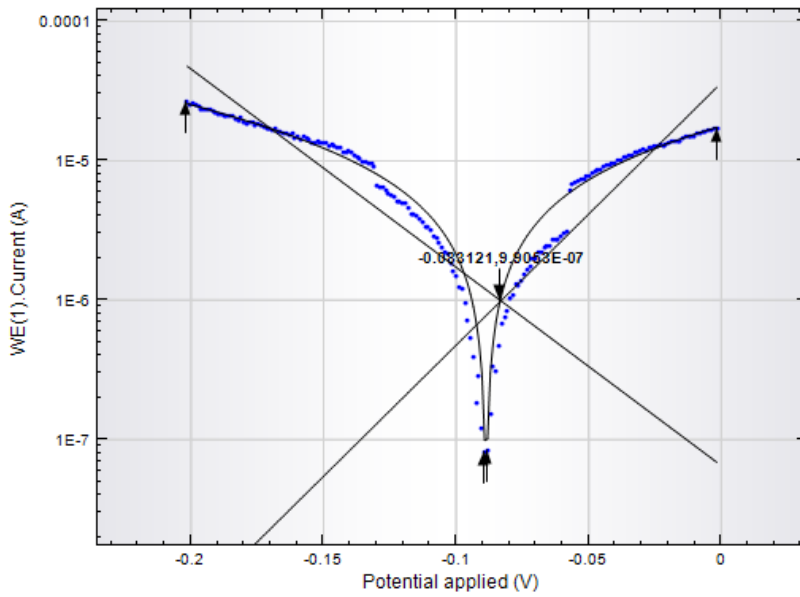
Gambar 4. 12 Grid yang Sudah melalui Proses Perbaikan Casting



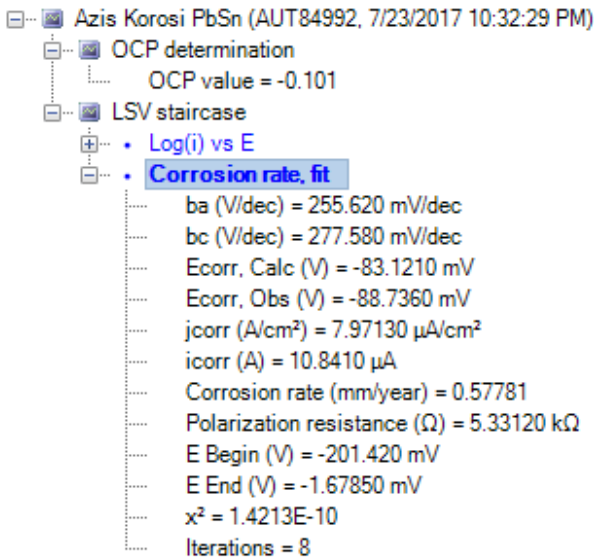
Gambar 4. 13 Grafik Hasil Pengujian Korosi Grid Yang belum Mengalami Perbaikan Proses Casting



Gambar 4. 14 Data Hasil Pengujian Korosi Grid Yang belum Mengalami Perbaikan Proses Casting



Gambar 4. 15 Grafik Hasil Pengujian Korosi Grid Yang Sudah Mengalami Perbaikan Proses Casting



Gambar 4. 16 Data Hasil Pengujian Korosi Grid yang Sudah Mengalami Perbaikan Proses Casting

Berdasarkan hasil pengujian korosi, grid yang belum mengalami perbaikan casting memiliki laju korosi yang lebih tinggi dibandingkan dengan grid yang sudah mengalami perbaikan pada proses castingnya. Berdasarkan Gambar 4.12 dan gambar 4.14, grid yang belum mengalami perbaikan pada proses casting memiliki laju korosi lebih besar dibandingkan dengan grid yang sudah mengalami perbaikan pada proses castingnya. Grid yang belum mengalami perbaikan pada proses casting memiliki laju korosi sebesar 0,75151 mm/year Sedangkan grid yang sudah mengalami perbaikan pada proses castingnya memiliki laju korosi sebesar 0,57781 mm/year. Berdasarkan Gambar 4.11 dan

gambar 4.13, grid yang belum mengalami perbaikan pada proses casting memiliki nilai potential korosi yang lebih besar dibandingkan dengan grid yang sudah mengalami perbaikan pada proses castingnya. Grid yang belum mengalami perbaikan pada proses casting memiliki potential korosi sebesar 69,286 mili Volt Sedangkan grid yang sudah mengalami perbaikan pada proses castingnya memiliki potential korosi sebesar -83,1210 mili Volt. Hal ini menunjukkan bahwa grid tersebut memiliki daya tahan terhadap korosi yang lebih buruk dibandingkan grid yang sudah mengalami perbaikan pada proses casting.

#### Hasil Analisa

1. Hasil Pengujian metalografi menunjukkan bahwa plat positif pada PT.Indobatt memiliki banyak *impurities*. Hal itu ditunjukkan terdapat warna hitam bulat yang berbeda sendiri dari yang lain
2. Hasil Pengujian *Scanning Electron Microscope (SEM)* juga menunjukkan adanya *impurities* pada *frame* dari plat positif PT.Indobatt. Hal itu ditunjukkan ada warna yang tidak homogen pada hasil SEM.
3. *Impurities* ini merupakan salah satu penyebab dari grid corrosion pada plat positif aki PT.Indobatt. *Impurities* tersebut berupa inklusi dari oksida *lead-antimony* yang terdapat pada *ladle* yang kemudian ikut masuk ke dalam proses pencetakan, hal ini menyebabkan hasil pencetakan tidak memiliki sifat yang seragam secara keseluruhan.
4. Kesalahan pada proses *casting* juga dapat memicu grid *corrosion*. Terlalu tingginya gradien pada *mold* dan *ladle* menyebabkan tingkat penyusutan yang tinggi. Akibatnya grid mengalami tarikan ke segala arah sehingga menurunkan daya tahan terhadap korosi.
5. Hasil Pengujian Korosi menunjukkan bahwa grid yang sudah mengalami perbaikan pada proses casting memiliki laju korosi yang lebih lambat dan juga potential

korosi yang lebih rendah dibandingkan dengan grid yang belum mengalami perbaikan pada proses casting.



## **BAB V**

### **SOLUSI HASIL PENELITIAN**

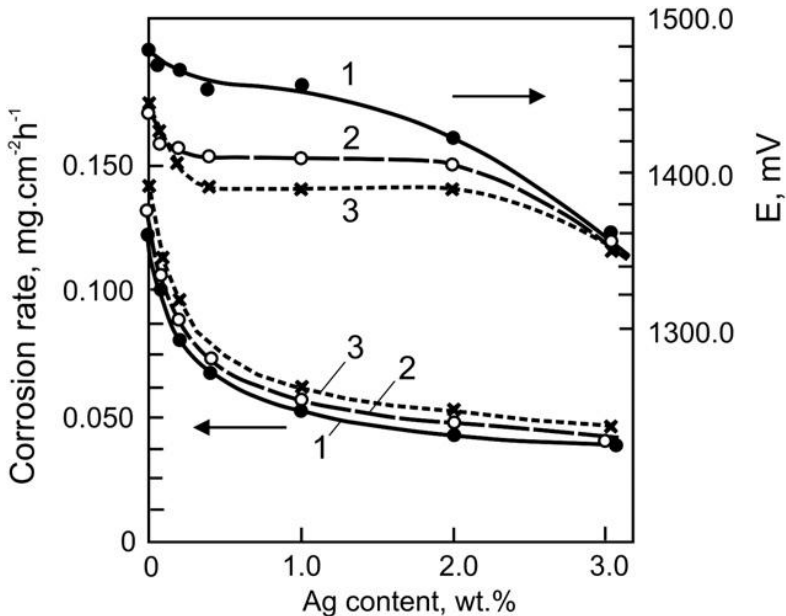
#### **5.1 Perbaikan Proses casting**

Kurang baiknya proses casting merupakan penyebab dari *impurities*. Penelitian yang pernah dilakukan oleh David pada tahun 2016 tentang *peningkatan efisiensi dan reduksi variasi grid pada proses casting dengan metode lean six sigma* bertujuan untuk mengetahui masalah-masalah apa saja yang ada pada proses casting serta memberikan solusi sehingga defect grid bisa dikurangi. Berdasarkan penelitian tersebut didapatkan solusi untuk meminimalisir kemungkinan masuknya dross dan inklusi lainnya pada logam cair. Hal ini penting karena setelah dilakukan pengamatan pada *grid* hasil produksi, *grid* memiliki banyak inklusi didalamnya, dan inklusi ini merupakan oksida dari *lead antimony* yang kemudian ikut masuk kedalam proses pencetakan *grid*. Dross pada *melting pot* tidak memberikan dampak yang signifikan karena dross pada *melting pot* berada pada permukaan *melting pot* sedangkan logam cair dipompa melalui dasar *melting pot* sehingga kemungkinan dross untuk ikut masuk menuju proses selanjutnya (*feedline pipe*) relatif sangat rendah. Permasalahan dross yang paling signifikan adalah dross pada *ladle* karena *ladle* merupakan tempat penampungan logam cair tepat sebelum logam cair masuk kedalam proses pencetakan. Dross pada *ladle* terbentuk karena *ladle* terpapar oleh udara bebas secara terus menerus. Hal ini diakibatkan oleh tidak adanya *cover* penutup pada *ladle* sehingga logam cair yang ada pada *ladle* tidak terisolasi dan terus menerus bereaksi dengan udara sekitar. Permasalahan ini dapat dihindari dengan membuang dross sisa produksi proses *casting* sebelumnya terlebih dahulu sebelum memulai proses *casting*, pada *melting pot* dan khususnya pada *ladle*, dan juga dengan memberikan

penutup/*cover* pada *ladle* dan pada *melting pot*. Hal ini merupakan membersihkan dross sisa produksi yang terdapat pada *ladle* sebelum memulai proses casting. Solusi lainnya adalah mengurangi temperatur pada *ladle* yang terlalu tinggi dan menaikkan temperatur mold. Perbedaan temperatur antara *ladle* dan mold terlalu tinggi. Temperatur standard pada proses *ladle* besarnya 570°C. Penggunaan suhu yang tinggi ini hanya memiliki tujuan untuk memastikan agar *lead-antimony* berada dalam kondisi cair, padahal *lead-antimony* telah mencapai titik leleh pada suhu  $\pm 327^{\circ}\text{C}$  Sedangkan temperatur pada mold sendiri sebesar 140°C. Temperatur tersebut dirubah yang awalnya 570°C menjadi 460°C dan temperatur mold yang awalnya 140°C menjadi 190°C. Perbedaan temperatur antara mold dan *ladle* menjadi tidak terlalu tinggi sehingga gradien temperatur menjadi tidak terlalu tinggi. Gradien temperatur ini mempengaruhi tingkat *shrinkage* pada grid. Tingkat *shrinkage* pada grid mengalami proses solidifikasi menjadi tidak terlalu tinggi antara satu proses dengan proses lainnya, dan hal ini dapat meminimalisir terjadinya *initial crack/micro cracks* pada bagian-bagian tertentu yang dapat mengakibatkan *grid* mengalami rapuh dan atau retak karena tingkat *shrinkage* juga menurun seiring dengan menurunnya gradien temperatur yang digunakan. gradien temperatur antara *ladle* dan mold menjadi tidak tinggi. Efeknya tingkat *shrinkage* yang terjadi pada grid tidak terlalu tinggi sehingga grid memiliki daya tahan terhadap korosi yang lebih baik[13].

## 5.2 Penambahan Silver

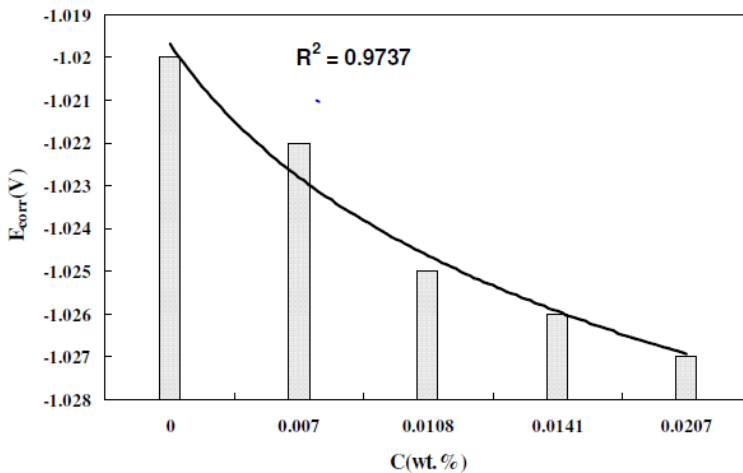
Selain memperbaiki proses casting, Penambahan unsur pada paduan juga bisa menurunkan laju korosi pada grid. Silver atau Ag merupakan salah satu unsur yang efektif dalam mengurangi laju korosi pada paduan *lead-antimony*. Gambar 5.1 menjelaskan bahwa ketika %Ag ditambah, maka laju korosi dari paduan *lead-antimony* tersebut dapat berkurang[4].



Gambar 5. 1 Grafik corrosion rate berbanding dengan %Ag[4]

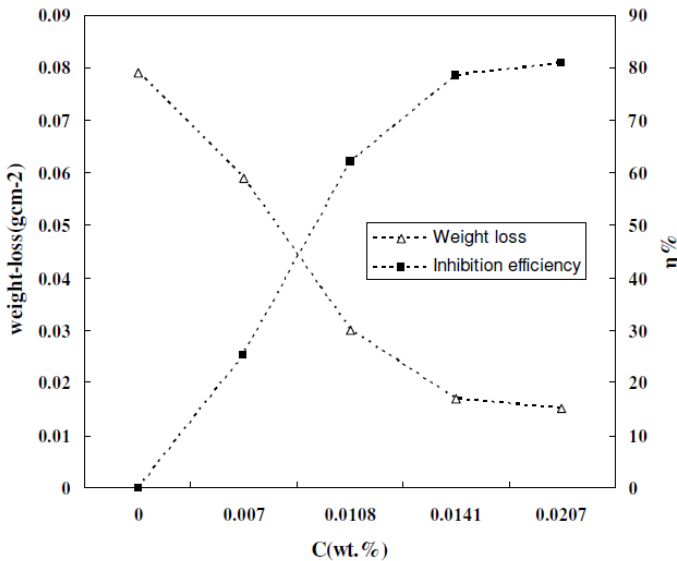
## 5.2 Penambahan Selenium

Penelitian telah dilakukan oleh A.Tizpar pada tahun 2008 mengatakan bahwa penambahan konsentrasi selenium pada plat positif dengan paduan *lead-antimony* dapat menurunkan laju korosi. Penelitian ini dilakukan dengan perbandingan persentase selenium sebesar 0,007; 0,0108; 0,0141; 0,0207.



Gambar 5. 2 Grafik  $E_{corrosion}$  berbanding dengan persentase selenium pada paduan *lead antimony*[12]

Gambar 5.2 merupakan grafik  $E_{corrosion}$  berbanding dengan persentase selenium pada paduan *lead antimony*. Dari grafik dapat dilihat bahwa semakin tinggi persentase selenium pada paduan lead antimony maka nilai dari  $E_{corrosion}$  semakin berkurang. Yang awalnya -1,02V berubah menjadi -1,028V. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan persentase selenium pada paduan *lead antimony* dapat menurunkan laju korosi.

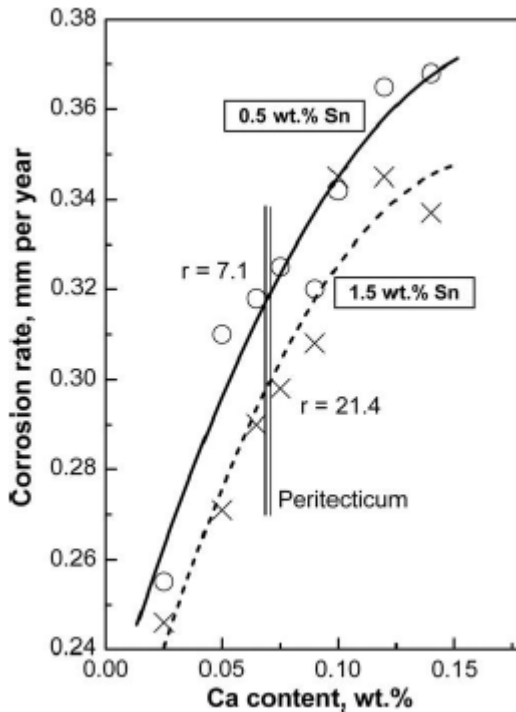


Gambar 5. 3 Grafik *weight losses* dan efisiensi hambatan berbanding dengan persentase selenium[12]

Untuk meneliti atau mengevaluasi laju korosi sering kali menggunakan metode pengukuran *weight losses*. Gambar 5.3 menunjukkan Hubungan antara *Weight losses* dan penambahan persentase selenium. Dapat dilihat bahwa semakin tinggi penambahan persentase selenium pada paduan *lead antimony* maka *weight loss* dapat semakin berkurang. Hal ini menunjukkan bahwa laju dari korosi dapat berkurang dengan penambahan selenium[12].

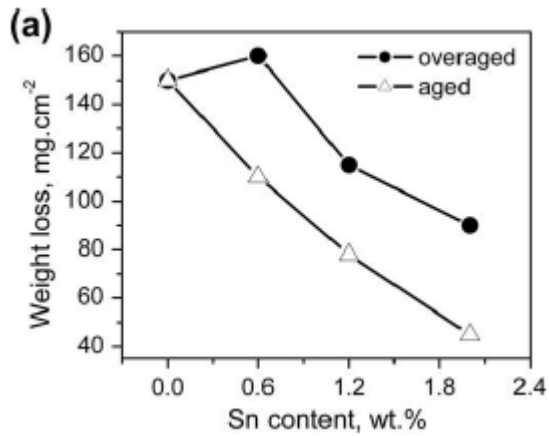
### 5.3 Penambahan Tin

Tin merupakan salah satu unsur yang ditambahkan pada paduan lead untuk mengurangi laju korosi. Penelitian pernah dilakukan dengan perbandingan %0,5 dan %1,5 Sn

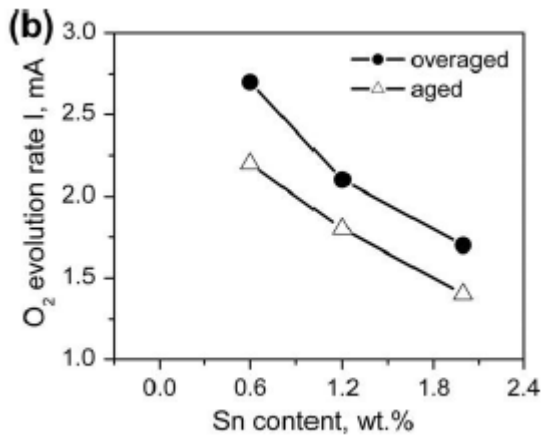


Gambar 5. 4 Grafik Laju Korosi dan Konten dari Ca dengan dua perbedaan Sn konsentrasi( 0,5 dan 1,5%)[4]

Gambar 5.4 merupakan grafik hasil pengujian penambahan tin dengan perbandingan 0,5 dan 1,5 persen. Dapat dilihat bahwa laju korosi semakin berkurang dengan bertambahnya konsentrasi tin pada paduan lead. Pengujian lainnya dengan membandingkan weight loss dan oksigen evolution. Dua indikator ini sering digunakan untuk merepresentasikan laju korosi.



Gambar 5. 5 Grafik Hubungan antara Weight Loss dengan persentase Tin[4]



Gambar 5. 6 Grafik Hubungan Antara Evolusi dengan Persentase Tin[4]

Gambar 5.5 menunjukkan bahwa semakin tinggi persentase Tin maka weight loss semakin berkurang nilainya. Gambar 5.6 menunjukkan bahwa semakin tinggi persentase dari tin maka laju evolusi oksigen semakin berkurang. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan tin pada paduan dapat mengurangi laju korosi pada aki[4].



## BAB VI

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 6.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang diperoleh dari hasil analisa penyebab dan pencegahan grid *corrosion* pada plat positif aki PT.Indobatt, berdasarkan studi literatur, analisa data, dan pengujian yang telah dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Hasil pengujian metalografi dan *Scanning Electron Microscope (SEM)* menunjukkan bahwa plat positif pada aki PT. Indobatt memiliki banyak *impurities*. *Impurities* tersebut merupakan inklusi dari oksida *lead-antimony*.
2. Hasil pengujian korosi menunjukkan bahwa grid yang belum mengalami perbaikan casting memiliki laju korosi yang lebih tinggi dan potential korosi yang lebih besar dibandingkan dengan grid yang sudah mengalami perbaikan pada proses castingnya.
3. Inklusi yang merupakan hasil oksida *lead-antimony* yang terdapat pada *ladle* yang kemudian ikut masuk dalam proses percetakan. Hal ini menyebabkan *grid corrosion* pada plat positif. Inklusi ini menyebabkan *internal stress* yang menyebabkan grid menjadi mudah terkorosi
4. Gradien suhu yang terlalu tinggi antara *ladle* dan *mold* ini menyebabkan timbal yang dicairkan mengalami tingkat penyusutan yang tinggi akibat dari proses solidifikasi. Tingkat penyusutan yang tinggi ini menyebabkan grid mengalami tarikan ke segala arah sehingga menurunkan daya tahan terhadap korosi karena tidak dapat mempertahankan strukturnya dengan baik.

5. Membersihkan *Dross* merupakan suatu cara untuk mengurangi impurities pada *grid* sehingga *grid corrosion* dapat dicegah. Menurunkan temperatur dari ladle juga dapat meningkatkan daya tahan grid terhadap korosi
6. Penambahan unsur silver atau Ag dapat mengurangi laju korosi. Unsur lain yang bisa ditambahkan untuk menurunkan laju korosi adalah Selenium. Dengan menurunkan laju korosi maka grid *corrosion* bisa dikurangi lajunya. Penambahan unsur tin dalam paduan juga dapat menurunkan laju korosi.

## 6.2 Saran

Saran yang dapat diberikan kepada pihak PT.Indobatt adalah sebagai berikut:

1. Perbaikan pada proses casting yang sudah dilakukan terbukti membuat kualitas dari grid menjadi lebih baik. Perlu ada nya sistem pengontrolan yang baik sehingga tidak terjadi kesalahan yang sama pada proses casting.
2. Penambahan unsur silver, selenium, dan tin bisa dilakukan pada paduan grid pada aki PT.Indobatt sehingga kerusakan akibat grid *corrosion* bisa dikurangi.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Data Complain PT. Indobatt Industri Permai
- [2] Halici, Safak. "*Development of Lead Alloys for Valve-Regulated Lead-Acid (VRLA) Batteries*". Middle East Technical University, 2010.
- [3] T.B. Reddy, D.Linden, "Linden's handbook of batteries" 2011
- [4] Pavlov, detechko, "Lead-Acid Batteries Science and Technology", Elsevier 2011
- [5] A.F. Hollenkamp, K.K Constanti, A.M. Huey, M.J. Koop and L. Aputeanu, 1992. *Premature Capacity-Loss Mecanisms in Lead/Acid Batteries*. Australia : CSIRO Division of Mineral Products
- [6] Halici, Safak, , 2010 "*Development of Lead Alloys for Valve-Regulated Lead-Acid (VRLA) Batteries*". Middle East Technical University.
- [7] Suozzo, Christopher, 2008. *Lead-Acid Battery And State of Health Diagnosis*. Ohio : The Ohio State University
- [8] Lecture : Lead-Acid Batteries. "How Battery Work". 2 November 2016. <http://ecee.colorado.edu/>
- [9] Rainer Wagner, 1994. *Failure Mode of Lead Acid Batteries in Different Aplication*. Germany: Research Centre group.
- [10] A.F. Hollenkamp, K.K Constanti, A.M. Huey, M.J. Koop and L. Aputeanu, 1992. *Premature Capacity-Loss Mecanisms in Lead/Acid Batteries*. Australia : CSIRO Division of Mineral Products
- [11] Sullivan, Kevin R., *12-volt Lead Acid BATTERY BASICS*. California : Skyline College

- [12] A.Tizpar, Z.Ghasemi,2008. *effect of Selenium Doping on Corrosion Electrochemical Performance of Pb-Sb-Se Alloys as Positive Grid in Lead-acid Battery*
- [13] Setiawan, David, 2016. *peningkatan efisiesiensi dan reduksi variasi grid pada proses casting dengan metode lean six sigma*. Surabaya:Institut Teknologi Sepuluh Nopember

## BIODATA PENULIS



Penulis yang memiliki nama lengkap **Imaduddin Azis**, dilahirkan pada tanggal 16 Oktober 1993 di Jakarta, merupakan anak kedua dari dua bersaudara. Pendidikan formal yang telah ditempuhnya yaitu dimulai dari SD Islam Al Azhar 09 , SMP Islam Al Azhar 8, dan SMA Negeri 8 Jakarta. Setelah lulus dari SMA pada tahun 2012, penulis melanjutkan pendidikan S-1 di salah satu Perguruan Tinggi terbaik di Indonesia tepatnya pada Departement Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya dan memperoleh gelar Sarjana pada bulan September tahun 2017.

Di Jurusan Teknik Mesin ini penulis mengambil Bidang Studi Rekayasa Sistem Industri dengan Tugas Akhir yang fokus ke Optimasi Manufaktur. Semasa kuliah, penulis memiliki pengalaman kerja praktek di PT. Garuda *Maintenance Facility AeroAsia* sebelum akhirnya melakukan penelitian tugas akhir di PT. Indobatt Industri Permai. Penulis sempat aktif di Organisasi kemahasiswaan yaitu Lembaga Bengkel Mahasiswa Mesin dan mengemban amanah sebagai Ketua event Engine Tune Up pada tahun 2014-2015. Penulis juga aktif dalam berbagai kegiatan

seperti *Indonesia Energy Marathon Challenge*, *Mechanical City*, dll. Penulis dapat dihubungi melalui email berikut:  
[azis.imaduddin@gmail.com](mailto:azis.imaduddin@gmail.com).